



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

**DETERMINACIÓN DE LA LÁMINA DE RIEGO ÓPTIMA EN EL CULTIVO DE
MARANGO (*Moringa, Oleífera*) EN LA FINCA “ENTRE RÍOS”, MUNICIPIO EL
VIEJO, DEPARTAMENTO DE CHINANDEGA**

Para optar al título de Ingeniero Agrícola

ELABORADO POR:

Br. Yorbin Josué García Benavides

Br. Miguel Ángel Pérez Jirón

Tutor

MSc. Ing. José Mamerto Méndez Úbeda

Asesor

MSc. Ing. Yader Arnulfo Molina Lagos

Managua, Nicaragua

Febrero, 2020

DEDICATORIA

A Dios nuestro creador:

Por ser nuestra fortaleza, nuestra guía, nuestro dotador de salud, amor y sabiduría.

A nuestras familias:

Por brindarnos todo su amor, apoyo, comprensión y por ser responsables de toda nuestra formación y nuestros logros, gracias son lo más importante en nuestras vidas.

A nuestros amigos (a):

Por todo el apoyo en los momentos difíciles en la maravillosa experiencia como estudiantes universitarios y por todos los consejos para seguir siempre adelante con los estudios.

Br. Yorbin Josue García Benavides.

Br. Miguel Ángel Pérez Jirón.

AGRADECIMIENTOS

A Dios: *Por todas las bendiciones que me ha dado.*

A mis padres: *Mirna del Rosario Benavides Gudiel y Víctor García Sánchez.*

Porque gracias a sus grandes esfuerzos y sacrificios pude ingresar a la universidad y culminar mis estudios, apoyándome incondicionalmente y brindándome consejos en todos los momentos y porque son mi fuente de inspiración.

A mis abuelos.

Por toda la ayuda que me brindaron durante mi formación universitaria por motivarme y creando en mi un espíritu de superación.

Al MSc. Ing. José Méndez Úbeda.

Por la tutoría de nuestro trabajo, aportando sus recomendaciones e indicaciones pertinentes en la realización del mismo.

Al MSc. Ing. Yader Arnulfo Molina Lagos.

Por la asesoría de nuestro trabajo, aportando sus recomendaciones e indicaciones pertinentes en la realización del mismo.

Br. Yorbin Josué García Benavides

AGRADECIMIENTOS

A Dios: por todas las bendiciones que me ha dado.

A mis padres: Abelardo Pérez Guardado y Hazel María Jirón Gutiérrez.

Porque gracias a sus grandes esfuerzos y sacrificios pude ingresar a la universidad y culminar mis estudios, apoyándome incondicionalmente y brindándome consejos en todos los momentos y porque son mi fuente de inspiración.

A mis abuelos: Rosa Emilia Trujillo y Miguel Ángel Pérez Jirón.

Por toda la ayuda que me brindaron durante mi formación universitaria por motivarme y creando en mi un espíritu de superación.

A mis hermanos (as).

Por la confianza y apoyo incondicional en los momentos que más necesite motivación para llevar a cabo este logro.

Al MSc. Ing. José Méndez Úbeda.

Por la tutoría de nuestro trabajo, aportando sus recomendaciones e indicaciones pertinentes en la realización del mismo.

Al MSc. Ing. Yader Arnulfo Molina Lagos.

Por la asesoría de nuestro trabajo, aportando sus recomendaciones e indicaciones pertinentes en la realización del mismo.

Br. Miguel Ángel Pérez Jirón

RESUMEN EJECUTIVO

En el siguiente trabajo se presentan los resultados de las propiedades hidrofísicas del suelo, pruebas de infiltración en el suelo, evaluación de presión y caudal del sistema de riego de la finca “Entre Ríos” en la cual está instalado un sistema de riego por goteo con botón en el cultivo de Marango (*Moringa, Oleífera*); considerando también, que el cultivo está por debajo del rango esperado en producción de follaje.

El diseño fue instalado en el año 2017, el área es de 10.58 Hectáreas (ha) lote 3 y 4 de la finca, ubicada en el municipio de el Viejo, departamento de Chinandega, cuyas condiciones climáticas son aptas para el desarrollo del cultivo de Marango, ya que el árbol es originario de Pakistán y es apto para condiciones de sequías.

La metodología utilizada para cumplir con lo antes descrito consistió en realizar las siguientes actividades en campo y en laboratorio de edafología: levantamiento de muestras de suelo (alteradas e inalteradas) del área en estudio, se georreferenciaron cada uno de los puntos con un GPS GARMIN, procesamiento de muestras en laboratorio de edafología, elaboración de mapas temáticos en el software ArcGis 10.3, evaluación del sistema de riego en software AquaCrop con los que, a partir de los datos obtenidos, se determinó el rango en el que se encuentra el sistema. Con todos estos resultados obtenidos se determinó la lámina de riego óptima que se debe aplicar en el cultivo, tiempo de riego y la frecuencia de riego.

Después de cumplido lo antes mencionado se finalizó este trabajo con varias recomendaciones para tener un mejor uso y manejo del sistema de riego de la finca “Entre Ríos” y de esta manera aumentar el rendimiento en follaje de Marango, con lo anterior mencionado, generar mayor plaza de empleos para las personas que habitan en las zonas cercanas de la finca y que el dueño obtenga mayores ingresos.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES	2
3. JUSTIFICACIÓN.....	3
4. OBJETIVOS.....	4
4.1. OBJETIVO GENERAL.....	4
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
5. MARCO TEÓRICO.....	5
5.1. SUELO	5
5.1.1. Muestreo de suelo	5
5.1.2. Descripción del perfil de suelo	6
5.1.3. Propiedades hidrofísicas del suelo	7
5.2. SISTEMATIZACIÓN DE MAPAS TEMÁTICOS CON SIG	9
5.2.1. Generalidades de SIG.....	10
5.2.2. Software ArcGis 10.3.....	10
5.3. CULTIVO DE MARANGO (<i>Moringa, oleífera</i>)	11
5.3.1. Origen.....	11
5.3.2. Taxonomía	12
5.3.3. Morfología	12
5.3.4. Requerimientos Edafoclimáticos	14
5.3.5. Requerimientos Nutricionales	15
5.3.6. Usos	15
5.4. SISTEMA DE RIEGO.....	17
5.4.1. Generalidades	18
5.4.2. Riego por goteo	18
5.4.3. Componentes de un sistema de riego localizado	19
5.4.4. Evaluación	20
5.5. EVAPOTRANSPIRACIÓN (ETO)	22
5.5.1. Generalidades.....	22
5.5.2. Métodos para determinar la evapotranspiración	23
5.5.3. Datos climáticos	24
5.5.4. Coeficiente de cultivo.....	24
5.6. LÁMINA DE RIEGO.....	24

5.6.1.	Generalidades	25
5.6.2.	Procedimiento para la determinación de la lámina de riego de un cultivo 26	
5.6.3.	Uso del Software AquaCrop	27
5.6.4.	Aplicaciones de AquaCrop	28
6.	METODOLOGÍA	29
6.1.	LOCALIZACIÓN Y UBICACIÓN.....	29
6.1.1.	Macro localización.....	29
6.1.2.	Micro localización.....	30
6.1.3.	Descripción de las Condiciones Climáticas	30
6.2.	Estudio del Suelo	30
6.2.1.	Muestro de Suelo.....	31
6.2.1.1.	Métodos de muestreo	31
6.2.2.	Descripción de Perfiles de suelo.....	32
6.2.2.1.	Método de la calicata	33
6.2.3.	Georreferenciación de las muestras de suelo.....	34
6.3.	Procesamiento de muestras en laboratorio	35
6.3.1	Determinación de Capacidad de Campo.....	35
6.3.2.	Determinación de Punto de Marchitez Permanente	37
6.3.3.	Determinación de Textura del Suelo	38
6.3.4.	Determinación de pH.....	41
6.3.5.	Determinación de Densidad Real (Dr).....	43
6.3.6.	Determinación de Densidad Aparente (Da)	47
6.3.7.	Determinación de Porcentaje de Humedad	49
6.4.	Procedimiento para recolección de datos de pruebas de infiltración de agua en el suelo.....	51
6.5.	Sistematización de mapas temáticos en software ArcGis 10.3	52
6.6.	Evaluación de Coeficientes de Uniformidad de Caudales y de Presiones	52
6.7.	Evaluación del sistema de riego en software AquaCrop	56
6.7.1.	Cobertura del dosel verde (CC) –Paso 1	63
6.7.2.	Transpiración del cultivo (Tr) – Paso 2	64
6.7.3.	Producción de biomasa – Paso 3	68
6.7.4.	Rendimiento del cultivo (Y) – Paso 4	69

7. Análisis e interpretación de resultados	70
7.1. Resultados de Propiedades Hidrofísicas del Suelo	70
7.1.1. Porcentaje de Humedad	72
7.1.2. Capacidad de Campo (Cc)	73
7.1.3. Punto de Marchitez Permanente (PMP).....	74
7.1.4. Densidad Aparente (Da)	75
7.1.5. Densidad Real (Dr).....	76
7.1.6. Textura del Suelo por el método de Bouyoucos	77
7.1.7. Porcentaje de pH	78
7.2. Descripción de los perfiles de suelos de los Lotes 3 y 4	80
7.2.1. Calicata lote 3	80
7.2.2. Calicata lote 4	80
7.3. Determinación del porcentaje de agua aprovechable en el suelo	82
7.3.1. Análisis de resultados lote 3 y 4.....	82
7.4. resultados de propiedades hidrofísicas de calicatas, lotes 3 y 4	83
7.5. Resultados de prueba de Velocidad de Infiltración en lotes 3 y 4.....	84
7.5.1. Infiltración Acumulada	84
7.5.2. Velocidad de Infiltración	85
7.6. Determinación del Coeficiente de Uniformidad de Caudales y Presiones del Sistema de riego por goteo	86
7.7. Analisis de Resultados del software AquaCrop	88
7.7.1. Resultados de simulación en condiciones reales de cultivo.....	88
7.7.2. Resultados de simulación en condiciones IDEales de cultivo	90
8. conclusiones.....	92
9. recomendaciones	93
Referencias.....	94
ANEXOS.....	xcviii

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Métodos de Evapotranspiración.....	23
Tabla 2. Clasificación de pH.....	41
Tabla 3. Evaluación de Dr.....	44
Tabla 4. Clasificación de Dr.....	45
Tabla 5. Evaluación Densidad Aparente.....	47
Tabla 6. Resultados de Propiedades hidrofísicas lote 3.	70

Tabla 7. Resultados de Propiedades Hidrofísicas lote 4.....	71
Tabla 8. Descripción del perfil lote 3.	80
Tabla 9. Descripción del perfil lote 4.	80
Tabla 10. Agua Aprovechable lote 3.	82
Tabla 11. Agua Aprovechable lote 4.	82
Tabla 12. Resultados de Propiedades Hidrofísicas de Calicatas.	83
Tabla 13. Datos de Presiones tomadas en campo.....	86
Tabla 14. Promedio de uniformidad de Presión lotes 3 y 4.....	87
Tabla 15. Promedio de Uniformidad de Caudal de lotes 3 y 4.	87
Tabla 16. Resultados de datos reales del cultivo de Marango.....	88
Tabla 17. Resultados de datos ideales del cultivo de Marango.....	90

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1. Suelo Agrícola.	5
Figura 2. Muestreo de Suelo.	5
Figura 3. Descripción de perfil de Suelo.	6
Figura 4. Método de la Calicata.....	6
Figura 5. SIG.....	9
Figura 6. Generalidades de SIG.	10
Figura 7. Ventana de Trabajo Software ArcGis 10.3.	10
Figura 8. Marango.	11
Figura 9. Semilla de Marango.....	12
Figura 10. Hoja de Marango.	13
Figura 11. Fruto de Marango.	13
Figura 12. Flor de Marango.	14
Figura 13. Usos del Marango.	15
Figura 14. Usos del Marango.	16
Figura 15. Sistema de Riego.	17
Figura 16. Botón de Goteo.	18
Figura 17. Componentes de Sistema de Riego.....	20
Figura 18. Esquema de Eto.	22
Figura 19. Esquema de Lámina de Riego.....	24
Figura 20. Simulación en Software AquaCrop.....	27
Figura 21. Aplicación del Software	28
Figura 22. Macro localización.....	29
Figura 23. Micro localización.	30
Figura 24. Método de Muestreo de Suelo, Densímetro y Barreno.	31
Figura 25. Método de la Calicata.....	33
Figura 26. GPS GARMIN.	34
Figura 27 Muestreo del Perfil de suelo.....	56
Figura 28. Efecto del Cambio Climático.	61
Figura 29. Parámetros del Cultivo.	63
Figura 30. Evaluación de Simulación de Resultados.	63
Figura 31 .Comparación de Humedad del suelo.....	68

Figura 32. Porcentaje de Humedad.....	72
Figura 33. Mapa de Porcentaje de Humedad.....	72
Figura 34. Capacidad de Campo.....	73
Figura 35. Mapa de Capacidad de Campo.....	74
Figura 36. Punto de Marchitez Permanente (PMP).	74
Figura 37. Mapa de Punto de Marchitez Permanente (PMP).	75
Figura 38. Densidad Aparente (Da).....	76
Figura 39. Mapa de Densidad Aparente (Da).....	76
Figura 40. Densidad Real (Dr).	77
Figura 41. Mapa de Densidad Real (Dr).	77
Figura 42. Textura del Suelo.	78
Figura 43. Mapa de Textura de Suelo.	78
Figura 44. pH.	79
Figura 45. Mapa de pH.	79
Figura 46. Descripción de perfil de suelo por el método de la calicata de la “Entre Ríos”.	81
Figura 47. Calendario de riego del cultivo de Marango para el año 2018 en la Finca Entre Ríos en condiciones reales de cultivo.	89
Figura 48. Calendario de riego del cultivo de Marango para el año 2018 en la Finca Entre Ríos en condiciones ideales de cultivo.....	91

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Agua Acumulada.	84
Gráfico 2 Velocidad de Infiltración	85

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. TRIÁNGULO TEXTURAL.....	xcviii
Anexo 2. MAPA DE % DE HUMEDAD.....	xcix
Anexo 3. MAPA DE CAPACIDAD DE CAMPO.	c
Anexo 4. MAPA DE PUNTO DE MARCHITES PERMANENTE.....	ci
Anexo 5. MAPA DE DENSIDAD APARENTE.....	cii
Anexo 6. MAPA DE DENSIDAD REAL.....	ciii
Anexo 7. MAPA DE TEXTURA DEL SUELO.	civ
Anexo 8. MAPA DE pH.....	cv
Anexo 9. FOTO DE ANÁLISIS DE MUESTRAS DE SUELO EN LABORATORIO.	cví
Anexo 10. FOTO DE ANÁLISIS DE MUESTRAS DE SUELO EN LABORATORIO.	cvii
Anexo 11. FOTO DE RECOLECCION DE MUESTRAS DE SUELO EN CAMPO FINCA “ENTRE RÍOS”.....	cviii
Anexo 12. CALENDARIO DE RIEGO (2010-2012).....	cix
Anexo 13. CALENDARIO DE RIEGO (2013-2015).....	cx
Anexo 14. CALENDARIO DE RIEGO (2016-2018).....	cxí

Anexo 15. PRUBA DE VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN.....	cxii
----------------------------------------------------------	-------------

1. INTRODUCCIÓN

En Nicaragua la aplicación de sistemas de riego implica costos de compra, operación y mantenimiento muy altos, tanto para el pequeño como para el mediano productor, pero una vez al aplicar cualquier sistema de riego en los cultivos se puede observar mayores rendimientos en producción, con un buen uso y manejo de los sistemas de riego (Espinoza & López, 2016).

El departamento de Chinandega es una zona muy popular por la aplicación de sistemas de riego en las prácticas agrícolas, por ejemplo: en los Ingenios y algunos productores con posibilidad de adquirirlos, el éxito está en; dar un buen uso y manejo al sistema (Espinoza & López, 2016).

En el municipio de el Viejo, departamento de Chinandega, está ubicada la finca “Entre Ríos”, la cual cuenta con un área de 28.04 hectárea (ha) en cultivo de Marango (***Moringa, Oleífera***), de las cuales 10.58 ha, cuentan con un sistema de riego por goteo con botón.

Se evaluó el rendimiento de las 10.58 ha que cuentan con este sistema de riego lote 3 y 4, para determinar el tiempo de riego necesario por día y la lámina de riego óptima a aplicarse en el cultivo, ya que la planta no está produciendo la cantidad de kilogramos (kg) en follaje esperada.

El presente estudio determinó mediante varios métodos, la lámina de riego óptima que se debe aplicar al cultivo de Marango (***Moringa, Oleífera***); para la producción de follaje, por ende, se realizaron barrenadas en una cuadrícula de 40X40 metros (mts) con profundidades de 0-20 centímetro (cm) y 20-40 cm para analizar muestras en laboratorio.

Se realizaron mapas sistemáticos en el software ArcGis 10.3 a través de los datos obtenidos en laboratorio de edafología, de igual manera se hizo la simulación en el software AquaCrop, esto con el fin de determinar la lámina de riego aplicarse al cultivo y el tiempo de riego por día del mismo.

2. ANTECEDENTES

La finca “Entre Ríos” le pertenece al Sr. Julio Montealegre desde el año 2015, la cual fue adquirida por medio de una herencia familiar, en un principio en la finca se cultivaba caña de azúcar en una subdivisión de 7 lotes, sin ninguna aplicación de un sistema de riego, en el año 2015 decide el propietario cambiar el cultivo de caña de azúcar a Marango (***Moringa, Oleífera***); para producción de semilla, así paso el periodo entre el 2015 – 2017.

En el año 2017 decide cambiar la producción de semilla a follaje y al mismo tiempo instalar el sistema de riego por goteo con botón solo a 10.58 ha (lotes 3 y 4), abasteciendo el sistema de un pozo artesanal el cual tiene una bomba sumergible que bombea 85 galones por minuto (g/m) ya existente en la finca, el diseño posee una tubería de 3” de diámetro, utilizando un tiempo de riego de 1 hora y 15 por válvula, el sistema instalado debió haberle ayudado a la planta a producir un promedio de 3 – 4 kilogramo (kg) de follaje por árbol en un tiempo estimado de 65 días.

Desde que fue instalado el sistema de riego en los lotes 3 y 4, a la actualidad el cultivo no ha producido el rendimiento esperado en follaje con la implantación del sistema, motivo por el cuál fue instalado el sistema.

En la actualidad no existe estudio alguno en la región acerca del cultivo de Marango en producción de follaje con un sistema de riego de goteo con botón del cual esta evaluación pueda tener una base, por lo cual se puede decir que este es el primer estudio a realizar para mejorar el rendimiento de sistema de riego y la producción de follaje, ya que actualmente en Nicaragua la producción de follaje de Marango (***Moringa, Oleífera***) está siendo aplicado en muchas zonas del país para el engorde de ganado bovino, por ende la presente evaluación del sistema pretende por medio de la metodología a utilizar, llegar al óptimo uso y manejo del sistema y a la mayor producción de follaje para ser usados en la fabricación de suplementos alimenticios, como es el caso de la finca en la actualidad de la finca “Entre Ríos” (García & Briones, 1997).

3. JUSTIFICACIÓN

El presente estudio tiene como objetivo principal mejorar el uso y manejo del sistema de riego existente en la finca, ya que desde que se instaló el sistema, el cultivo no está produciendo el rendimiento esperado en follaje, con esta evaluación se logró determinar la lámina de riego óptima y la frecuencia de riego que se debe de aplicar al cultivo.

Con los resultados que se obtuvieron por medio de la evaluación del sistema de riego, el dueño de la finca puede tendrá mejores rendimientos en producción de follaje, esto generará una demanda mayor de mano de obra en la zona por lo que las personas que viven en los sectores aledaños se verán beneficiados con una oportunidad laboral.

Los resultados de la evaluación del sistema de riego puede servir como antecedente para futuros trabajos de investigación sobre el uso y manejo del sistema de riego por goteo con botón en el cultivo de Marango (***Moringa, Oleífera***) en la región, aplicando el sistema de manera eficiente al cultivo enfocado en la producción de follaje para la fabricación de suplementos alimenticios para el consumo humano, actualmente, en Nicaragua la producción de follaje de Marango está enfocado específicamente para el engorde de ganado (Espinoza & López, 2016).

Los empresarios que están involucrados en la producción de follaje para fabricación de suplementos alimenticios podrán tener como referencia el presente documento para optimizar sus recursos, hacer buen uso y manejo del sistema de riego en las fincas o bien poder tomar de modelo la finca “Entre Ríos” para obtener el rendimiento correcto en producción con la buena aplicación de los recursos con los que se tienen a disposición. Una vez sabiendo el tipo de suelo y sus características se puede aplicar la lámina de riego óptima al suelo.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

- Establecer la lámina de riego óptima para el cultivo de Marango (***Moringa, Oleífera***), en la finca “Entre Ríos” considerando las características hidrofísicas del suelo, condiciones climatológicas de la zona y necesidad hídrica, de acuerdo a lo establecido en la finca.

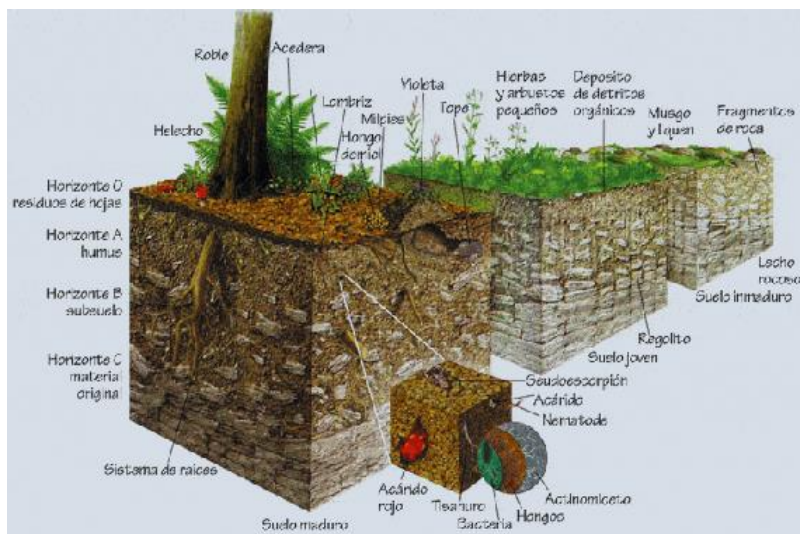
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la capacidad de almacenamiento y movimiento de agua en el suelo, considerando las características hidrofísicas, a través de muestreo de campo y procedimiento en laboratorio.
- Evaluar el coeficiente de uniformidad de caudales y presión del sistema de riego por goteo instalado en los lotes 3 y 4 de cultivo de Marango, a través de la aplicación de la metodología de “Christiansen”.
- Determinar los requerimientos hídricos y rendimiento de biomasa del cultivo del Marango (***Moringa, Oleífera***), a través de simulación con el software AQUACROP y calibración de resultados en campo.

5. MARCO TEÓRICO

5.1. SUELO

Figura 1. Suelo Agrícola.



Fuente: (Úbeda J. , 2018).

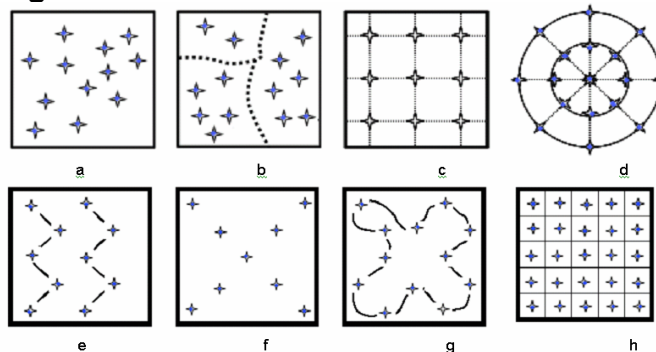
El suelo agrícola (Figura 1) es aquel que se utiliza en el ámbito de la productividad para hacer referencia a un determinado tipo de suelo que es apto para todo tipo de cultivos y plantaciones, es decir, para la actividad agrícola o agricultura.

El suelo agrícola debe ser en primer lugar un suelo fértil que permita el crecimiento y desarrollo de diferentes tipos de cultivo que sean luego cosechados y utilizados por el hombre, por lo cual también debe ser apto por sus componentes para el ser humano (EcuRed., 2015).

5.1.1. Muestreo de suelo

El muestreo es el primer paso de un análisis físico-químico del suelo (Figura 2), y el más crítico, ya que constituye la fuente de error más común. Al muestrear para una recomendación de fertilización o para el diseño de un sistema de riego, el punto central es obtener una muestra que

Figura 2. Muestreo de Suelo.

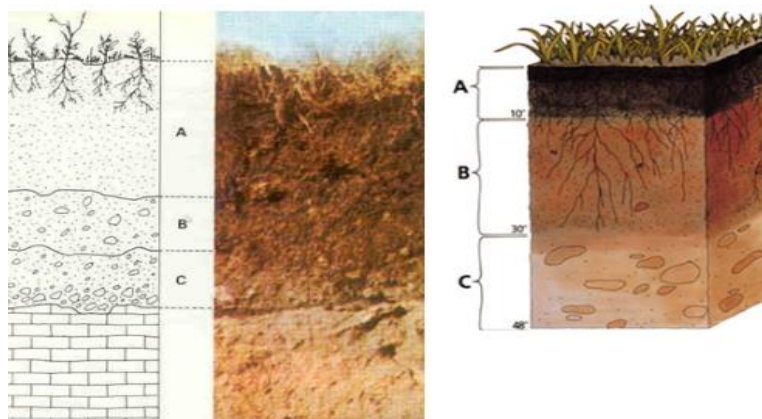


Fuente: (Úbeda J. , 2018).

represente precisamente el lote donde fue tomada. El muestreo del suelo es la forma en que se obtiene la información para su correspondiente estudio. En la agricultura los análisis de suelos se realizan a profundidades variables, si el estudio requiere información detallada y compleja (Méndez & López, 2011).

5.1.2. Descripción del perfil de suelo

Figura 3. Descripción de perfil de Suelo.



Fuente: (Úbeda J. , 2018).

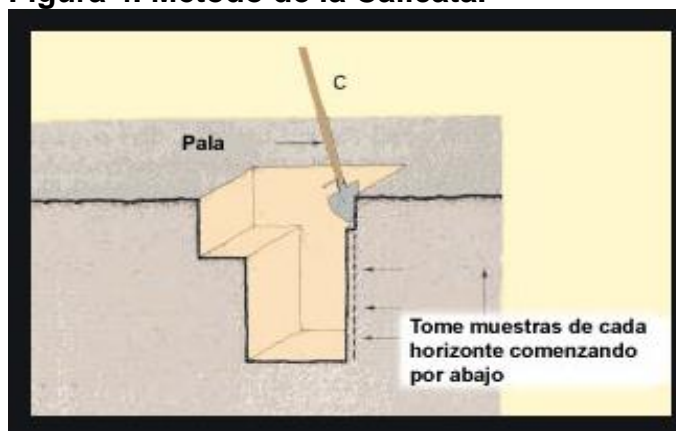
Los suelos se pueden definir como una estructura organizada (Figura 3), porque están constituidos por una serie de capas horizontales casi paralelas a la superficie llamadas “horizontes” que se diferencian más o menos entre sí. Un

perfil de suelo es utilizado para el análisis de suelo, ya que de él se puede obtener información sobre la génesis, estructura, transformaciones y alteraciones del suelo (Méndez & López, 2011).

➤ Método de la calicata

La calicata debe realizarse con la vista del perfil opuesta a la dirección en que sale el sol (o la principal fuente de luz). La sección mínima recomendada es de 0,80 m por 1,00 m, a fin de permitir una adecuada inspección de las paredes. El material

Figura 4. Método de la Calicata.



Fuente: (López & Méndez, 2012)

excavado deberá depositarse en la superficie de su forma (López & Méndez, 2012) Ordenada separada de acuerdo a la profundidad y horizonte correspondiente (Figura 4).

5.1.3. Propiedades hidrofísicas del suelo

Las propiedades hidrofísicas del suelo son porcentaje de humedad (%H), capacidad de campo (Cc), Punto de Marchitez Permanente (PMP), Densidad Aparente (Da), Densidad Real (Dr), Textura del Suelo por el método hidrométrico de Bouyoucos, pH, Conductividad Eléctrica.

➤ Porcentaje de humedad (%H)

Se denomina porcentaje de humedad en el suelo a la cantidad de agua por volumen de tierra que hay en un terreno, la determinación de la humedad en el suelo es de gran importancia debido a que constituye un factor determinante en la información, conservación, fertilidad y productividad del mismo. El conocimiento de la humedad y su dinamismo en el suelo es la base de la caracterización hidrofísicas del suelo (Méndez & López, 2011).

➤ Capacidad de Campo (Cc)

La capacidad de campo es una propiedad hidrofísica de gran importancia ya que con la misma encontramos la capacidad de retención de agua en el suelo, así como nos sirve de base para el cálculo del agua disponible y la porosidad de aireación del suelo factores determinantes del rendimiento de los cultivos (Méndez & López, 2011).

➤ Punto de Marchitez Permanente (PMP)

Se considera PMP a la cantidad que queda en el suelo expresada en porciento base suelo seco, en el momento en que las plantas sufren de marchites irreversible o permanente, es decir, es el agua que la planta no es capaz de absorber (Méndez & López, 2011).

➤ **Densidad Aparente (Da)**

Se conoce como Da la importancia de conocer el estado físico del suelo, ya que refleja el comportamiento dinámico de la estructura y la porosidad debido a que varía por la acción de agentes externos e internos como por ejemplo la compactación y la dispersión de las partículas respectivamente. La densidad aparente es la base para el cálculo de la porosidad total, el peso de su hectárea surco, la humedad en base al volumen y la norma de riego (Méndez & López, 2011).

➤ **Densidad Real (Dr)**

La densidad real (Dr) o densidad de la fase sólida del suelo es la real entre la masa del suelo seco y la masa de igual volumen de agua. El valor de la Dr depende de la naturaleza de los minerales y de la cantidad de sustancias orgánicas. Para la mayoría de los suelos el valor medio de la densidad de su fase sólida es de 2.65 gramos (gr) / centímetro cúbico (cm³) variando en función de las causas indicadas. Cuando más humus, contiene el suelo tanto es la densidad real (Méndez & López, 2011).

En la determinación de la densidad real lo más importante es obtener con presión el volumen de los sólidos del suelo sobre la base de la extracción del aire, del suelo al vacío al mediante y orgánica (Méndez & López, 2011).

➤ **Textura del Suelo por el método hidrométrico de Bouyoucos.**

La textura del suelo está compuesta en combinaciones de arena, limo y arcilla que integran la distribución del tamaño de partículas en una muestra de suelo. Las clases texturales la distribución se definen por la dominación en el suelo de las propiedades de una o más fracciones. Cuando no aparece dominación alguna tenemos la clase textural franca (Méndez & López, 2011).

➤ **pH**

El pH se define como el logaritmo de la inversa de la concentración de iones de hidrógeno, una solución con pH menor de 7 será ácida, si el pH es superior de 7

recibe el nombre de básica o alcalino, un pH igual a 7 corresponda a la neutralidad.

La importancia de medir por lo general el pH de un suelo radicular en la disponibilidad de los nutrientes del suelo por ser parte de las plantas para absorberlo, ya que muchos nutrientes tienen la máxima solución a pH de 6-7 por encima y por debajo de tal rango (Méndez & López, 2011).

EL pH del suelo es medido por lo general potenciométricamente en el sobrenadante en equilibrio con la suspensión del suelo, los valores de pH dependen de las características del suelo la concentración de CO₂ disuelto y el contenido de humedad al cual se realiza la medición. La medida de la conductividad eléctrica (CE), junto con la del pH, son básicas en el análisis de suelo y aguas, puesto de ella se muchas de las características del agua de riego y del suelo de cultivo (Méndez & López, 2011).

➤ Conductividad Eléctrica

La conductividad eléctrica se define como la capacidad de una sustancia de conducir la corriente eléctrica. Esta relación con la presencia de iones disueltos en el agua, los cuales son partículas cargadas eléctricamente. Cuando mayor sea la cantidad de iones disueltos mayor será la conductividad eléctrica del agua (Méndez & López, 2011).

5.2. SISTEMATIZACIÓN DE MAPAS TEMÁTICOS CON SIG

Figura 5. SIG.



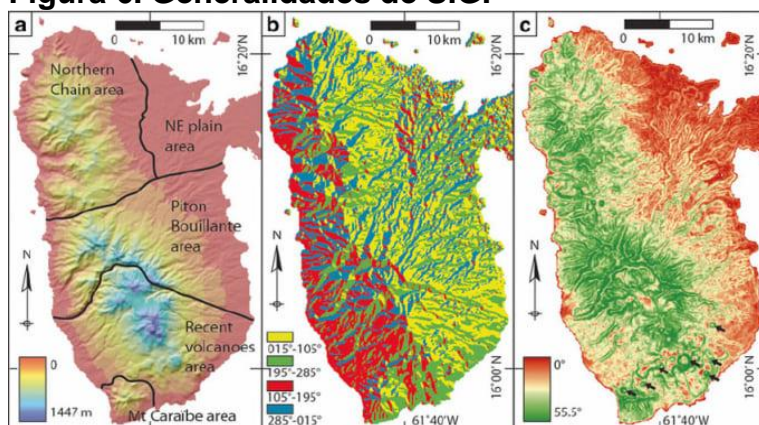
Fuente: (Úbeda J. , 2018)

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son un conjunto de herramientas compuestas por hardware, software, datos y usuarios, que permite capturar, almacenar, administrar y analizar información

digital, así como realizar gráficos y mapas, y representar datos alfanuméricos (Figura 5). De acuerdo a un SIG también puede verse como un modelo informatizado de la realidad geográfica para satisfacer unas necesidades de información concretas, esto es, crear, compartir y aplicar información útil basada en datos y en mapas (López T. , 2015).

5.2.1. Generalidades de SIG

Figura 6. Generalidades de SIG.



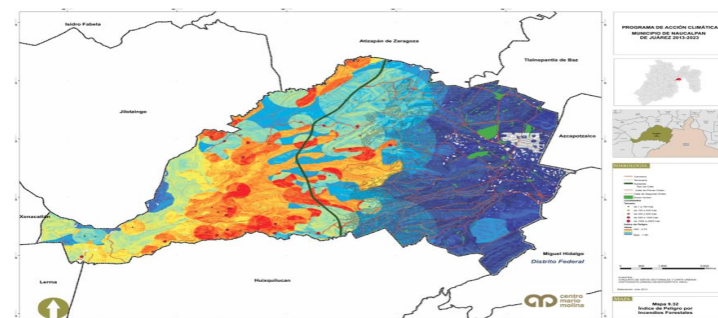
Fuente: (López T. , 2015).

El software cuenta con un sin número de herramientas que facilitan la elaboración de los mapas, apoyándose de la geo referenciación del GPS y por medio del software Microsoft Excel exportar las coordenadas al

software Gis, esto permite dejar plasmado en los mapas de suelo el tipo de suelo, capacidad de campo, punto de marchitez permanente, pH, porosidad, densidad real, densidad aparente que posee cada uno de los puntos muestreados (Figura 6).

5.2.2. Software ArcGis 10.3

Figura 7. Ventana de Trabajo Software ArcGis 10.3.



Fuente: (López T. , 2015).

ArcGIS es un completo software que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica. De la misma manera permite la representación por medio de mapas que

permiten tomar al ingeniero la toma de decisiones a la hora de aplicar cualquier sistema de riego a los cultivos, una vez teniendo claro las propiedades físicas químicas que posee el área de estudio, los resultados obtenidos serán positivos (Figura 7).

5.3. CULTIVO DE MARANGO (*Moringa, oleífera*)

La moringa es un género de plantas que se ha vuelto muy popular actualmente las especies que forman este género son treces, la especie más popular para el cultivo es la *moringa oleífera*, todos los especímenes de esta planta son árboles y se desarrollan en climas tropicales y subtropicales, es una planta accesible y de fácil cultivo, también se le conoce como Marango, algunas figuras políticas han hecho referencia a la planta de moringa, uno de ellos fue el fenecido Fidel castro que la catalogaba como árbol milagroso, hoy en día en el clima político cálido que se vive en el país de Venezuela políticos adversarios se sugieren su uso continuamente.

5.3.1. Origen

Figura 8. Marango.



Fuente: (Cerrato., 2008).

El Marango es un árbol originario del sur del Himalaya, Nordeste de la India, Bangladesh, Afganistán y Pakistán (Figura 8). Se encuentra diseminado en una gran parte del planeta. En América Central fue introducido en los años 1920 como planta ornamental y

para cercas vivas, se encuentra en áreas desde el nivel del mar hasta los 1800 metros. Se puede reproducir por estacas o semilla (Cerrato., 2008).

5.3.2. Taxonomía

El árbol alcanza de 7 metros (m) a 12 m de altura y de 20 a 40 cm de diámetro, con una copa abierta, tipo paraguas, generalmente recto. Las hojas son compuestas y están dispuestas en grupos de folíolos con 5 pares de estos acomodados sobre el pecíolo principal y un folíolo en la parte terminal. En los folíolos tenemos láminas foliares ovaladas de 200 milímetros 5 (mm) de área foliar organizadas frontalmente entre ellas en grupos de 5 a 6 (Cerrano., 2008).

Flores bisexuales con pétalos blancos, estambres amarillos, perfumadas. Frutos en cápsulas trilobuladas, dehiscentes de 20 a 40 cm de longitud. Contienen de 12 a 25 semillas por fruto. Las semillas son de forma redonda y color castaño oscuro con 3 alas blanquecinas.

Cada árbol puede producir de 15000 a 25000 semillas por año. El árbol de Marango posee un alto contenido de proteínas en sus hojas, ramas y tallos. Sus frutos y flores contienen vitaminas A, B y C y proteínas. Las semillas tienen entre 30 y 42% de aceite y su torta contiene un 60% de proteína (Cerrano., 2008).

5.3.3. Morfología

- Semilla

Las semillas son carnosas, cubiertas por una cascara fina de color café. Posee tres alas, o semillas atadas de 2.5 a 3 mm de largo. Al quitar la cáscara se obtiene el endospermo que es blanquecino y muy oleaginoso (Figura 9).

Figura 9. Semilla de Marango.



Fuente: (Cerrano., 2008).

- Hojas

Son compuestas de unos 20 cm de largo, son ovaladas de 1cm a 2cm de largo de color verde claro (Figura 10).

Figura 10. Hoja de Marango.



Fuente: (Cerrano., 2008).

- Fruto

Figura 11. Fruto de Marango.



Fuente: (Cerrano., 2008).

Las frutas son unas vainas de color pardo, de tres lados, lineares, usualmente de 20 a 45 cm de largo. Las frutas alcanzan la madurez aproximadamente 3 meses después del florecimiento (Figura 11).

- Flores

Puede florecer sólo una vez al año entre los meses de abril y junio. Estas son

Figura 12. Flor de Marango.



de color cremas, muy numerosas y fragantes que miden de 1cm a 1.5cm de largo (Figura 12).

Fuente: (Cerrano., 2008).

5.3.4. Requerimientos Edafoclimáticos

Existen reportes de presencia de esta planta en lugares donde las precipitaciones alcanzan niveles entre los 300 milímetros (mm) y 1500 mm anuales. Se cultiva en regiones áridas y semiáridas de la India, Paquistán, Afganistán, Arabia Saudita y África del Este (Ramachandran et al. 1980, Reyes 2006, Croess y Villalobos 2008). Además, se desarrolla adecuadamente en altitudes de 0 a 1800 metros sobre el nivel del mar (msnm) (Fred 1992), aunque se obtienen mejores resultados por debajo de 600 msnm (Palada y Chang 2003). Moringa posee un amplio rango de adaptación a diferentes temperaturas. En este sentido, (Falasca y Bernabé, 2008) plantearon que, en su hábitat natural, las temperaturas medias anuales presentan grandes fluctuaciones. Durante los meses más fríos soporta entre -1°C y 3°C, mientras que en los meses más cálidos de 38°C a 48°C. Es importante resaltar, que una vez que las temperaturas alcanzan valores inferiores a 10 0C se perjudica el proceso de floración, de manera que en estos casos la propagación se debe realizar por vía vegetativa (por estacas).

El cultivo de moringa necesita al menos 700 mm de agua por año, aunque hay reportes que en algunos lugares del pacífico de Nicaragua donde con 300 mm crece muy bien, también se ha observado un buen comportamiento con precipitaciones anuales de 2000 mm (Padilla, et al., 2018).

El Marango requiere de suelos francos, francos-arcillosos, no tolera suelos arcillosos o vertisoles, ni suelos con mal drenaje. Se desarrolla favorablemente en suelos con un pH entre 4.5 – 8, aunque prefiere suelos neutros o ligeramente ácidos (Padilla, et al., 2018).

5.3.5. Requerimientos Nutricionales

Fertilización química y orgánica. Moringa posee la capacidad de establecerse bien en la mayoría de los suelos sin adiciones de fertilizantes, pues su amplio y profundo sistema radicular le permite la eficiente absorción de los nutrientes presentes en el suelo (Palada y Chang 2003). Sin embargo, al ser Moringa un árbol con la capacidad de generar elevados volúmenes de biomasa, es preciso tener en cuenta que una alta productividad implica grandes extracciones de nutrientes del suelo. Por lo que se hace necesario un programa de fertilización con el objetivo de mantener producciones estables en el tiempo.

5.3.6. Usos

Figura 13. Usos del Marango.



Fuente: (Botanica, 2019).

Algunas personas usan la moringa como un suplemento, se considera la Moringa superalimento, en algunas ocasiones se aplica el jugo de las hojas directamente sobre la piel como un anti-germen o como un astringente, la moringa tiene una gran cantidad de usos. (Padilla,

et al., 2018). La moringa se extendió a nivel mundial para tratar abscesos, pie de atleta, la caspa, enfermedades de las encías, mordeduras de serpientes, verrugas y heridas en general, el aceite se puede utilizar como suplemento alimenticio, como base de cosméticos y productos para el cabello y la piel.

El aceite de semilla de moringa se utiliza en los alimentos, perfumes y cuidado del cabello, así como lubricante para automóviles, sobre todo, la Moringa es una importante fuente de alimentos en algunas partes del mundo, ya que puede ser cultivado de forma barata y fácil (Figura 13).

Las hojas son ricas en vitaminas y minerales después del secado, esta planta se utiliza en la India y África por personas involucradas en programas de alimentación para combatir la desnutrición, los frutos de las vainas verdes se preparan de una manera similar a los granos, mientras que las semillas de las vainas más maduras son usadas como guisantes o son asada, las hojas se pueden cocinar y utilizar en la cocina igual que la espinaca, pero también en la versión seca y en polvo se puede utilizar como un condimento.

Actualmente, en Nicaragua el cultivo de Marango está enfocado para la alimentación de ganado, en el caso de la finca Entre Ríos se ha enfocado en la producción de follaje para la elaboración de suplementos alimenticios, debido a los aportes de vitaminas A, B y C y

Figura 14. Usos del Marango.



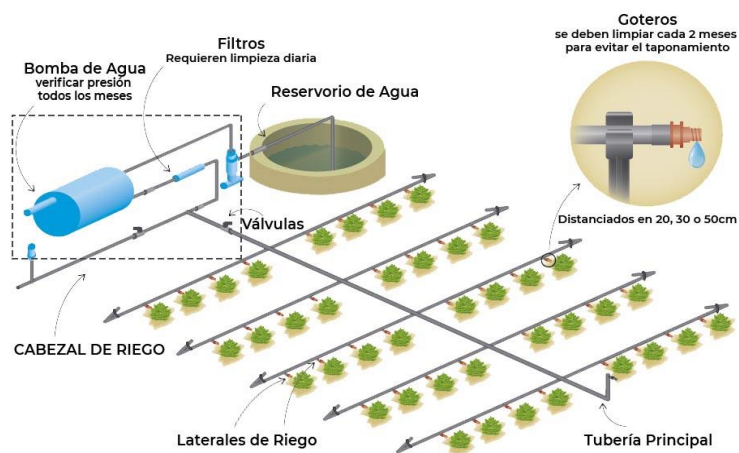
Fuente: (Botanica, 2019).

proteínas que se encuentran en el follaje de la planta. De acuerdo al clima de la zona es de suma importancia implementar un sistema de riego al cultivo, por medio de suministro de agua a la planta puede evitar factores negativos como: estrés hídrico, desnutrición en la planta, baja producción en rendimiento, etc (Figura 14). El buen uso y manejo de los recursos hídricos aplicados en un sistema permiten llevar a cabo una exitosa y buena cosecha con base a la optimización del sistema de riego (Padilla, *et al.*, 2018).

La aplicación de tecnología en los cultivos es de suma importancia, si se pretende aumentar los resultados y optimizar los recursos con los que se cuenta (Garcia & Briones, 1997). En el caso de la finca “Entre Ríos” un buen uso y manejo del sistema de riego existente, podría elevar la producción de follaje. Esto generaría mayores plazas de empleo en la zona, ya que contaría con mayor volumen de materia prima para cosechar y procesar, por lo que, el empresario se vería en la necesidad de contratar más personal para el procesamiento del producto.

5.4. SISTEMA DE RIEGO

Figura 15. Sistema de Riego.



Se denomina Sistema de riego o perímetro de riego, al conjunto de estructuras, que hace posible que una determinada área pueda ser cultivada con la aplicación del agua necesaria a las plantas (Garcia & Briones, 1997).

El sistema de riego por goteo también conocido con el nombre de “riego gota a gota”, es un método de

Fuente: (Garcia & Briones, 1997)

irrigación utilizado en las zonas áridas pues permite la utilización óptima de agua, es un medio eficaz y pertinente de aportar agua a la planta, ya sea en cultivos en línea (Garcia & Briones, 1997).

El botón es el accesorio del sistema de riego que hace posible el suministro de agua a la planta forma de riego “gota a gota” (Figura 15), es el encargado de hacer posible la irrigación en la planta de acuerdo a la frecuencia y tiempo del riego (Garcia & Briones, 1997).

5.4.1. Generalidades

Se denomina Sistema de riego o perímetro de riego, al conjunto de estructuras, que hace posible que una determinada área pueda ser cultivada con la aplicación del agua necesaria a las plantas (Garcia & Briones, 1997).

Estas estructuras, o bien conocidos como sistemas de riego es el encargado de suministrar la cantidad de agua necesaria (lámina de riego) al cultivo con el buen uso y manejo del sistema se pueden llegar a rendimientos máximos en cualquier cultivo que opte por implementar cualquier sistema de riego.

Por medio de la aplicación de las prácticas agrícolas como cosecha de agua, conservación del ecosistema y suelos agrícolas, con la aplicación de los sistemas de riego se puede optimizar el uso y conservación de los recursos hídricos con los que se cuentan en la zona de aplicación del sistema de riego, la aplicación del agua en los cultivos es un factor determinante en la producción agrícola.

5.4.2. Riego por goteo

Figura 16. Botón de Goteo.



Fuente: (Garcia & Briones, 1997)

El sistema de riego por goteo también conocido con el nombre de “riego gota a gota” (Figura 16), es un método de irrigación utilizado en las zonas áridas pues permite la utilización óptima de agua, es un medio eficaz y

pertinente de aportar agua a la planta, ya sea en cultivos en línea (Garcia & Briones, 1997).

El botón es el accesorio del sistema de riego que hace posible el suministro de agua a la planta forma de riego “gota a gota”, es el encargado de hacer posible la irrigación en la planta de acuerdo con la frecuencia y tiempo del riego (Garcia & Briones, 1997).

5.4.3. Componentes de un sistema de riego localizado

- Reservorio: Usado comúnmente para regar el cultivo.
- Bomba de pozo profundo: Utilizada para tomar agua de los acuíferos para alimentar el reservorio o ser usada directamente. Esta agua puede contener arena o elementos biológicos.
- Controlador de riego: Dispositivo electrónico que activa las válvulas en campo de acuerdo con la programación establecida por el usuario.
- Sistema de inyección de fertilizantes y equipo auxiliar (inyección de cloro, inyector de ácido, inyector de sales nutritivas) Componentes de un sistema de riego localizado.
- Válvulas de control.
- Reguladoras de presión y caudal, alivio de aire y doble propósito; manómetros, medidores de flujo y válvulas anti retorno o cheque.
- Válvulas de control de filtros (retro lavado).
- Emisores de riego: Goteros, micro aspersores, cintas de riego, micro tubos.
- Unidad de bombeo es el principal componente de un sistema de riego presurizado, debe otorgar la presión y caudal suficiente al sistema en función de las necesidades que demanda cada instalación en particular.

Figura 17. Componentes de Sistema de Riego.



Fuente: (Pinto & Pinto, 2009).

Los componentes principales de la unidad de bombeo son: Succión: Válvula de succión, tubería de succión (PVC o Polietileno), reducción excéntrica. Motobomba (con motor de combustión interna o eléctrica) Descarga: Reducción concéntrica, válvulas de control de presión (Figura 17).

5.4.4. Evaluación

- Coeficiente de uniformidad de Caudales

Según “Christiansem” considera un coeficiente de uniformidad aceptable a valores por encima del 80 % resultado que refleja una correcta aplicación y distribución del agua en el área bajo riego, permitiendo un uso más eficiente del agua disponible maximizando la producción debido a que los cultivos instalados reciben la cantidad de agua óptima para elevar su rendimiento (D & Giandrelly., 2018).

Para el cálculo del coeficiente de uniformidad de caudales, se elegirá un número determinado de emisores distribuidos uniformemente dentro de la subunidad de riego representativa del conjunto de la instalación. En general, se recomienda seleccionar 16 emisores para calcular este coeficiente. Para ello se eligen los

laterales más cercano y más lejano de la toma de la tubería terciaria y los dos intermedios. En cada lateral se seleccionan 4 emisores siguiendo el mismo criterio, es decir, el más cercano y el más lejano de la toma lateral y los dos intermedios.

- **Coeficiente de Uniformidad de Presiones**

Para la determinación de la presión en el sistema instalado, se deben seguir el siguiente procedimiento:

A. Comprobar que el sistema funciona con normalidad.

Revisar los filtros, comprobar que no hay goteros obturados, anotar el caudal global del subsector elegido, anotar el caudal global previsto en el diseño para el subsector elegido.

B. Tomar el equipo necesario para medir los caudales de los goteros y presiones. Cronómetro, probeta graduada.

Vasitos para recoger la descarga del gotero o tubo de 1 m. de longitud y 50 mm. De diámetro de PVC cortado por la mitad para medir caudales en sistemas de tubería porosa o manguera perforada, manómetro, libreta de campo para toma de datos.

C. Seleccionar el sector de riego y localizar los puntos de medida.

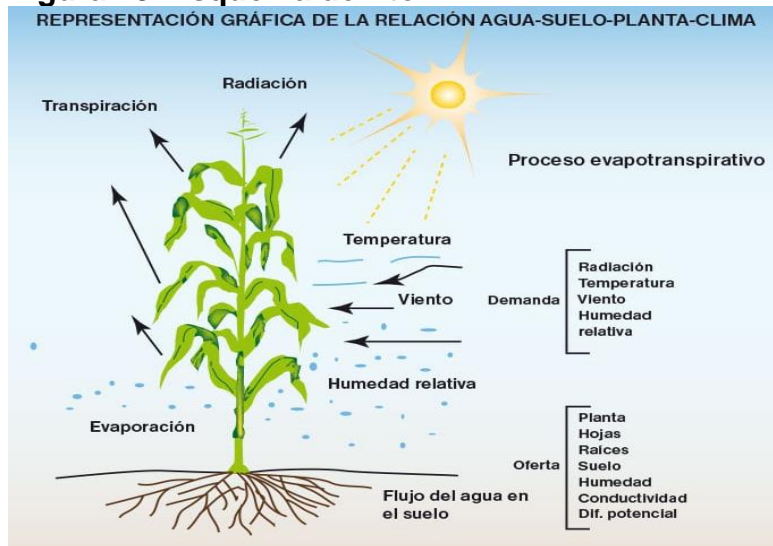
Tomar el agua de los goteros seleccionados durante el intervalo de tiempo (t) prefijado (preferible múltiplo de minuto). Convertir todas las lecturas de caudales en litros por hora. $V \text{ (ml)}/t \text{ (minutos)} \times 1/16,7 = \text{caudal (l/h)}$.

Fórmula 1. Coeficiente de uniformidad de presiones.

$$CU_p = [p_{25\%}/p_{med}] \times 100$$

5.5. EVAPOTRANSPIRACIÓN (ETO)

Figura 18. Esquema de Eto.



Fuente: (FAO, 2006)

Dos factores importantes poder comprender como se da este término de evapotranspiración son la evaporación y la transpiración de la planta. La evaporación es un fenómeno físico que pasa que pasa en el agua a líquido de vapor se produce desde:

La superficie del suelo y vegetación inmediata después de la precipitación (Figura 18).

Desde la superficie del agua (ríos, lagos, embalses).

Desde el suelo, el agua infiltrada que se evapora de la parte más superficial del suelo, puede tratarse como aguas recién filtradas, o de áreas de descargas, de agua que se acerca a la superficie del suelo después de un largo recorrido en el subsuelo.

5.5.1. Generalidades

El agua que se encuentra en el aparte superficial del suelo es que se denomina como zona de aireación la humedad que se encuentra en ella puede estar distribuida de modo irregular. Pero se puede clasificar por subzonas como:

- Subzonas de evapotranspiración (ET): Es la más afectada por este fenómeno si no existe vegetación puede tener incluso hasta metros en afectación.

- Subzona capilar: Sobre la superficie freática, el agua ascendida por capilaridad, su aspersor es muy variable dependiendo a la granulometría de los materiales.
- Subzona intermedia: Se encuentra entre las 2 antes mencionadas, aunque en muchos casos inexistentes.

5.5.2. Métodos para determinar la evapotranspiración

Existen numerosos métodos para determinar la evapotranspiración con una aproximación suficiente para cualquier estudio hidrogeológico, normalmente estas fórmulas calculan mes a mes para datos medios para una serie en años. Después mensual con la evapotranspiración y las precipitaciones mensuales se hace un balance mes a mes del agua en el suelo.

Algunas fórmulas son:

Métodos para la determinación de la Evapotranspiración potencial (ET_o)

Tabla 1. Métodos de Evapotranspiración.

Autor	Medidas Necesarias	Otros datos
Jensen-Heise	Temperatura (media y mensual), altitud y radiación Solar.	De la latitud por una tabla se obtiene el número teórico de horas sol.
Haggreaves	Temperatura. Radiación solar.	Tabla de número teórico de sol, la radiación solar se puede estimar.
Blanney-Criddle	Temperatura.	La radiación solar se puede estimar con la temperatura máximas y mínimas diarias.
Turc	Temperatura. Horas reales del día.	De las horas de sol se obtiene la radiación global incidente.
Penman	Temperatura, horas reales del día, velocidad, viento y humedad relativa.	Por tablas se obtienen parámetros necesarios.

Fuente: (Úbeda J. , 2018).

5.5.3. Datos climáticos

A su vez es de suma importancia los datos climatológicos que influyen en este fenómeno los cuales son:

- Temperatura.
- Humedad.
- Presión atmosférica y la latitud en relación con ella, a menor presión (y/o mayor altitud) más evaporación.
- Viento, entre mayor es la presencia del viento, más evaporación.

5.5.4. Coeficiente de cultivo

El uso eficiente del agua en la agricultura es fundamental, especialmente en las regiones semiáridas donde la escasez de agua es intensa. El objetivo de este estudio es estimar los requerimientos de agua y coeficientes de cultivo en las diferentes etapas fenológicas de Marango (*Moringa, Oleífera*).

Según (Célia S. dos Santos, 2017) los coeficientes de cultivo (K_c) varían entre 0,73 a 1,73 en las diferentes etapas fenológicas.

Evapotranspiración del cultivo de Moringa (E_{To}) exhibe variaciones temporales, con una tasa acumulada de 139.8 mm, para una referencia acumulativa evapotranspiración de 130,97 mm. Las plantas de Moringa muestran una ligera restricción de agua en tiempos de baja radiación solar (Célia S. dos Santos, 2017).

5.6. LÁMINA DE RIEGO

Figura 19. Esquema de Lámina de Riego.



Es la cantidad en volumen de agua en una determinada superficie de terreno, aplica al riego agrícola, es decir la cantidad de agua que se aplica al cultivo en un

determinado intervalo de tiempo (Garcia & Briones, 1997).

5.6.1. Generalidades

Como consecuencia del consumo de agua por el cultivo, se genera una disminución constante de la humedad en la zona de mayor concentración radical. Se hace obligatoria la aplicación de riego como medio para reponer la consumida por la planta en sus diferentes procesos y así llevar el suelo a su capacidad de campo máxima (Soubannier, 1985).

El técnico debe preocuparse por conocer tanto la cantidad de agua que el cultivo consume diariamente como la que el suelo tiene capacidad de retener a disposición a la planta. En esta forma se le hará fácil calcular la dosis de agua y las fechas de aplicación, teniendo en cuenta que la planta durante su desarrollo, está sujeta a una serie de variaciones que se presentan en cuanto a la humedad del suelo (Soubannier, 1985).

Por “consumo de agua del cultivo” se entiende “la cantidad mínima de agua que una planta necesita para producir una determinada cosecha” Si se analiza este concepto en forma general, se concluye que se debe diferenciar lo que se define como consumo de agua y lo que se conoce como dotación o suministro de agua. Este último caso se refiere al agua total derivada, incluyendo el consumo por la planta y para cuya determinación se debe tomar no muy en cuenta la eficiencia del riego (Soubannier, 1985). En la actualidad el agua consumida por la planta es la que posteriormente conforma el agua de vegetación y el agua de constitución. Además de la que se evapora en la superficie del suelo cultivado y de la interceptada por el follaje. Bajo tales condiciones el consumo de agua por la planta, está directamente relacionado a la evaporación y transpiración de la planta. En razón a lo anterior presentará variaciones en función al tipo de suelo, temperatura, vientos, luminosidad humedad relativa etc. Por consecuencia la exigencia de agua por un mismo cultivo varía por la zona (Soubannier, 1985).

5.6.2. Procedimiento para la determinación de la lámina de riego de un cultivo

Para determinar la lámina de riego aplicar a cualquier cultivo agrícola, se debe realizar el siguiente procedimiento en campo:

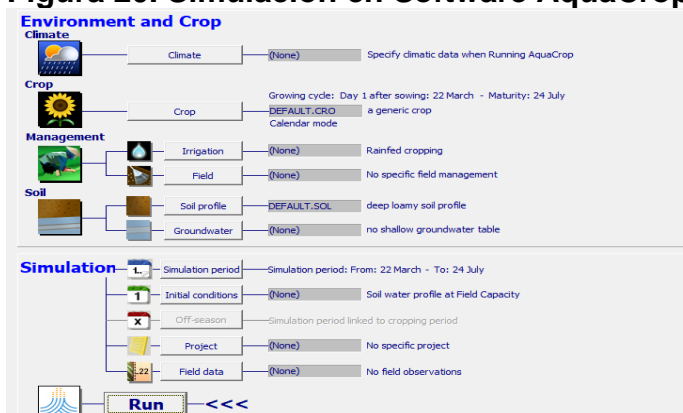
1. Realizar muestreo de suelo en la zona de estudio, para hacer análisis de propiedades hidrofísicas de las muestras en laboratorio.
2. Hacer pruebas de infiltración del agua en el suelo para determinar la velocidad de infiltración agua en el suelo, de esta manera saber la capacidad de retención, humedad, escurrimiento del agua en el suelo.
3. Hacer descripción de perfil de suelo en la zona de estudio, con esto poder analizar el comportamiento del bulbo de agua ya la zona radicular efectiva de la planta.
4. Si el estudio en curso ya cuenta con un sistema de riego instalado (como es el caso del presente estudio), se tiene que medir caudales y presión del sistema para poder determinar la necesidad hídrica del cultivo.
5. Si no existe un sistema de riego instalado en el cultivo es necesario conocer los requerimientos físico-Químico del cultivo para hacer diseño agronómico y el diseño hidráulico.
6. Conocer los datos climatológicos históricos de la zona de estudio, con esta información se puede calcular la evapotranspiración la cual juega un papel de vital importancia en la determinación de una lámina de riego.
7. Evaluación en software AquaCrop (o cualquier software del que la persona (as) encargadas de del estudio puedan auxiliarse) para poder analizar la simulación del sistema, tiempo de riego, calendario de riego y finalmente determinar la lámina de riego necesario en el tipo de cultivo a cosechar.

5.6.3. Uso del Software AquaCrop

AquaCrop es un software de simulación del comportamiento del agua por medio de los sistemas de riego aplicado interacciones entre cultivo, planta y el suelo (Figura 20). Desde la zona radicular, la planta extrae agua y nutrientes, se toma en cuenta el manejo del campo (descripción de perfil de suelo) y el manejo del riego dado que afectan la interacción. El sistema descrito está vinculado a la atmósfera a través del límite superior

que determina la demanda evaporativa (evapotranspiración) y aporta CO₂ y energía para el crecimiento del cultivo. El agua drena desde el sistema hacia el subsuelo y la capa freática a través del límite inferior. Si la capa freática es somera, el agua puede desplazarse hacia arriba en el sistema mediante el ascenso capilar (FAO, 2017).

Figura 20. Simulación en Software AquaCrop.

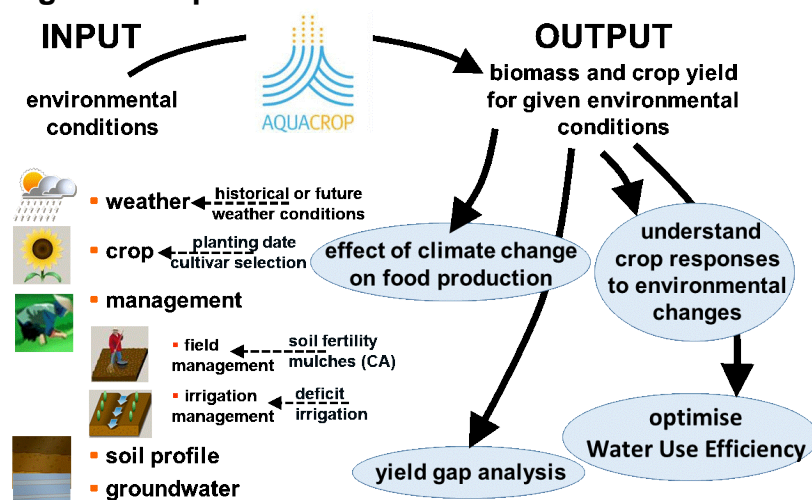


Fuente: Manual AquaCrop, 2017.

FAO diseñó AquaCrop para ocuparse de la seguridad alimentaria y evaluar el efecto del medio ambiente y el manejo en la producción de cultivos. Al diseñar el modelo se perseguía un equilibrio óptimo entre la sencillez, la precisión y la solidez. Para poder tener una aplicación más amplia, AquaCrop utiliza sólo un número relativamente pequeño de parámetros explícitos y variables de entrada en su mayor parte intuitivas que pueden determinarse mediante métodos sencillos. Por otro lado, los procedimientos de cálculo se basan en procesos biofísicos básicos y a menudo complejos para garantizar una simulación precisa de la respuesta del cultivo en el sistema planta-suelo (FAO, 2017).

5.6.4. Aplicaciones de AquaCrop

Figura 21. Aplicación del Software



Fuente: Manual AquaCrop, 2017.

AquaCrop puede utilizarse como una herramienta de planificación o para ayudar en las decisiones sobre manejo tanto para agricultura de regadío como de secano.

AquaCrop es en particular útil para:

Entender la respuesta del cultivo a los cambios ambientales (herramienta educativa);

Comparar los rendimientos alcanzables y reales en un campo, finca, parcelas y en aplicación del aporte del recurso hídrico a los cultivos.

Identificar las restricciones que limitan la producción de cultivos y la productividad hídrica (herramienta de comparación).

Diseñar estrategias en condiciones de déficit hídrico con el objeto de maximizar la productividad del agua a través de esta herramienta (Figura 21).

Prácticas de cultivo y manejo: p.ej. ajustar la fecha de siembra, selección de la variedad, manejo de la fertilización, uso de acolchados del suelo, cosecha de agua de lluvia;

Estudiar el efecto del cambio climático sobre la producción de alimentos, al ejecutar AquaCrop con condiciones climáticas tanto históricas como futuras;

Fines de planificación, al analizar escenarios útiles para administradores en materia de agua y gerentes, economistas, analistas de política y científicos.

6. METODOLOGÍA

La metodología empleada en este estudio consistió en la solicitud de datos meteorológicos, investigación documental de los requerimientos y manejo del cultivo, en conjunto con el trabajo en campo (investigación de las condiciones hidrofísicas del área destinada al riego), procesamiento de datos en laboratorio de edafología, elaboración de mapas temáticos en software ArcGis 10.3, simulación de sistema de riego en software AquaCrop y análisis de los resultados.

6.1. LOCALIZACIÓN Y UBICACIÓN

6.1.1. Macro localización

La ciudad de Chinandega está ubicada al occidente de Nicaragua tiene una extensión de 686,61 km², está ubicada entre las coordenadas 12° 37' de latitud norte y 87° 07' de longitud oeste, a una altitud de 70,42 m (Figura 22).

Figura 22. Macro localización.



Fuente: Google Earth, 2019.

6.1.2. Micro localización

La zona de estudio está ubicada en el kilómetro 168 carretera hacia el Viejo Jiquilillo, Chinandega (Figura 23).

Figura 23. Micro localización.



Fuente: Google Earth, 2019.

6.1.3. Descripción de las Condiciones Climáticas

Para apreciar las magnitudes de los factores climáticos de la zona en que se realizó este estudio, se utilizaron los datos climatológicos proporcionados por el Institución Grupo Pantaleón, correspondiente a la Estación Meteorológica del ingenio Pantaleón, con coordenadas: Latitud: 12703618 Longitud: 87237836, Elevación: 37 MSM. Dichos datos sirven de base para la determinación de la evapotranspiración de referencia de la zona, calculada con el software AquaCrop.

6.2. ESTUDIO DEL SUELO

El estudio, descripción, recolección de muestras de suelo en campo es el primer paso en la determinación de una lámina de riego puesto que, una vez conociendo propiedades hidrofísicas de suelo de la zona de estudio se pueden tener un alto rango de aplicar la cantidad de agua necesaria y aprovechable para el cultivo, no causar un estrés hídrico al cultivo, suministrar por medio el sistema de riego la lámina de agua exacta y de esta manera optimizar el recurso en la finca.

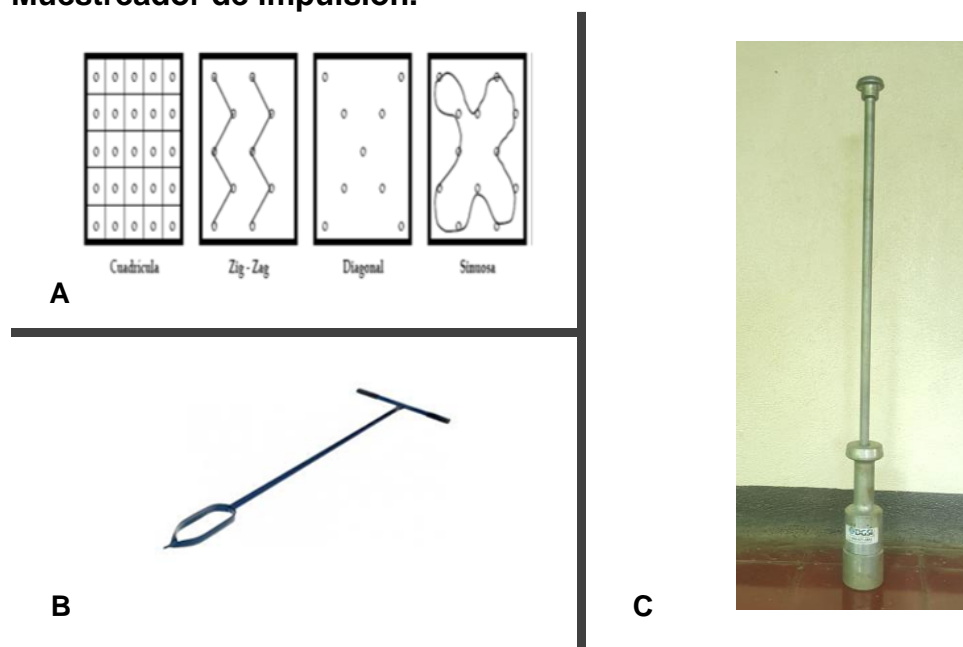
6.2.1. Muestro de Suelo

En el caso particular de la Finca Entre Ríos, se realizó la recolección de las muestras alteradas por lo cual fue necesaria la utilización de un barreno, y el método de la cuadrícula (muestras alteradas). Los métodos que se utilizaron en la recolección de muestras son:

6.2.1.1. Métodos de muestreo

- Para la recolección de las muestras alteradas se utilizó el método de la cuadrícula y la recolección de muestras en campo, con un barreno (Figura 24).
- Para la recolección de las muestras inalteradas el sondeo por el método de Zig-Zag y la recolección de muestras en campo, con el muestreador de impulsión para densidad aparente (Figura 24).

Figura 24. A. Método de Muestreo de Suelo, B. Barreno y C. Muestreador de impulsión.



Fuente: Propio.

➤ Materiales que se utilizaron en la recolección de muestras de suelo en la finca son:

- Pala.
- Machete.
- Caba de acero.
- Galón de agua.
- Bolsas plásticas para recolección de muestras de suelo.
- Bandeja.
- Cilindros.
- Densímetro.
- Barreno.
- Botas de hule.
- Protección solar (ropa adecuada, gorra, etc.).

6.2.2. Descripción de Perfiles de suelo

Para determinación de los perfiles de suelo de la finca “Entre Ríos” se utilizó el método de la calicata, los suelos se pueden definir como una estructura organizada, porque están constituidos por una serie de capas horizontales casi paralelas a la superficie llamadas “horizontes” que se diferencian más o menos entre sí. Un perfil de suelo es utilizado para el análisis de suelo, ya que de él se puede obtener información sobre la génesis, estructura, transformaciones y alteraciones del suelo.

Una de las formas de realizar un análisis de perfil de suelos es por medio de la construcción de una calicata, que consiste en abrir un hueco en el suelo, con el espacio suficiente para facilitar la movilidad en su interior, y que la luz pueda penetrar de forma suficiente para garantizar una visibilidad óptima. (Mendez, Guía de prácticas de laboratorio, 2012)

La profundidad de la calicata está en función de la profundidad del suelo, y de ella se puede obtener muestras para el análisis de las características físicas in situ o

en el laboratorio. Su utilización es de interés en estudios geológicos, edafológicos, en construcciones de obras civiles, etc.

6.2.2.1. Método de la calicata

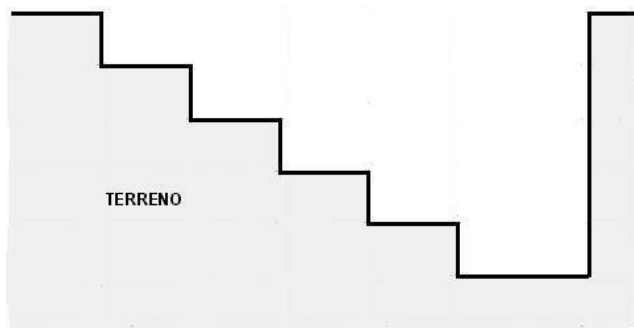
El método de descripción de perfil de suelo (calicata) se utilizó para el análisis de suelo, ya que de él se puede obtener información sobre la génesis, estructura, transformaciones y alteraciones del suelo (Méndez & López, 2011).

➤ Materiales y herramientas a utilizar son:

- Machete.
- Pala.
- Cota.
- Cinta métrica.
- Espátula edafológica.
- Cilindros metálicos.
- Agua destilada.
- Bolsas plásticas.
- Tabla de colores Munsell.
- Hoja de campo.

Procedimiento

Figura 25. Método de la Calicata.



Fuente: (López M. , 2012)

La calicata debe realizarse con la vista del perfil opuesta a la dirección en que sale el sol (o la principal fuente de luz). La sección mínima recomendada es de 0,80 m por 1,00 m, a fin de permitir una adecuada

inspección de las paredes (Figura 25). El material excavado deberá depositarse en la superficie en forma ordenada separado de acuerdo a la profundidad y horizonte correspondiente. Debe desecharse todo el material contaminado con suelos de estratos diferentes. Se dejarán plataformas o escalones de 0,30 a 0,40 metros al cambio de estrato, reduciéndose la excavación. Esto permite una superficie para efectuar la determinación de la densidad del terreno. Se deberá dejar al menos una de las paredes lo menos re moldeada y contaminada posible, de modo que representen fielmente el perfil estratigráfico del pozo (Mendez, Guia de practicas de laboratorio, 2012).

Para la elaboración de las calicatas se optó por aplicar el método anteriormente expuesto de el caso de la finca “Entre Ríos” se realizaron 2 calicatas en los lotes 3 y 4 a una profundidad de 1.20 metros.

6.2.3. Georreferenciación de las muestras de suelo

Figura 26. GPS GARMIN.



Fuente: Propio.

El siguiente paso es el de georeferenciar todos los puntos muestreados, ya que la georreferenciación facilita el uso y manejo del software ArcGis, el cual facilitara la elaboración de mapas temáticos de suelo de la finca. Dicha labor se acabó con un GSP marca GARMIN (Figura 26), lo cual permitió representar los

resultados de los análisis realizados en el laboratorio de edafología, la elaboración de mapas temáticos en software ArcGis 10.3 y de esta manera representar los resultados obtenidos de una manera técnica.

6.3. Procesamiento de muestras en laboratorio

El siguiente paso, una vez que se hizo la recolección de las muestras de suelo de la finca “Entre Ríos”, se procedió a realizar los análisis de las muestras de suelo en laboratorio, por diferentes métodos, se determinó el resultado de las propiedades hidrofísicas de los lotes 3 y 4 tales como: Cc, PMP, Textura, pH, Dr, Da, %humedad.

En el análisis realizado en la capacidad de campo que posee la finca “Entre Ríos”, se utilizó el método de la prensa de Richard el cual según (López & Méndez, 2012),

métodos utilizados en laboratorio de edafología, en determinación de propiedades hidrofísicas de suelo.

6.3.1 Determinación de Capacidad de Campo

Por medio del método de la prensa de Richard se determinó la capacidad de campo, esta propiedad hidrofísica del suelo es de gran importancia, ya que consiste en conocer las posibilidades de retención de agua en el suelo y sirve de base para el cálculo del agua disponible, porosidad de aireación del suelo. Los cuales son factores determinantes del rendimiento de los cultivos.

No es posible concebir la aplicación de la técnica de riego sin el uso de este parámetro. Cuando el suelo alcanza la capacidad de campo se manifiesta la mayor disponibilidad de agua para la planta. (Mendez, Guía de prácticas de laboratorio, 2012)

➤ Materiales y equipos a utilizar son:

- Prensa de Richard.
- Membrana extractora de presión (Platos de Cerámica).
- Anillos retenedores. Usar anillos de 10 mm de altura y 50 mm de diámetro para suelos orgánicos y anillos de 10 mm de altura y 40 mm de diámetro para otros suelos.
- Balanza electrónica, Balanza electrónica, ± 0.01 gr de sensibilidad.

- Horno, termostáticamente controlado, 105 °C, ± 5 °C.
- Pesa filtros, tarados y con sus tapas.
- Fuente de presión (Compresor), con regulador y conteo.

➤ Procedimiento

- Sumergir el plato de cerámica en agua destilada por 12 horas o más antes del uso. Poner el plato de cerámica mojado dentro de la prensa de Richard.
- Agregar agua y los anillos retenedores. Agregar suficiente agua para mantener húmedo el plato de cerámica. El nivel de agua debe ser menos que la altura de los anillos retenedores.
- Llenar los anillos retenedores poniendo de 10 a 15 gr de suelo seco al aire y < 2 mm de diámetro de partículas. Incluir una muestra control de calidad un cada plato. Continuar agregando agua hasta que todas las muestras se hayan humedecido por capilaridad. Si las muestras no se humedecen, aplicar alcohol etílico a la superficie de la muestra. Dejar que el alcohol se evapore. Cubrir las muestras con una hoja de plástico para reducir la evaporación, cerrar el extractor, y dejar durante la noche.
- Remover el exceso de agua sobre el plato con la bomba de vacío.
- Armar el extractor y atornillar uniformemente.
- Incrementar la presión del aire 1.5 bar (150 kpa) cada 15 minutos hasta alcanzar 15 bar (1500 kpa). Las muestras se han equilibrado cuando cesa de salir agua por el tubo de flujo.
- En el equilibrio abrir el extractor y rápidamente transferir las muestras a la pesa filtros, taparlos, pesar y anotar el peso del suelo húmedo más el peso de la tara (Psh+t).

- Destapar la pesa filtros, colocarlos en el horno y secar a 105 °C hasta que los pesos sean constantes. Sacar las muestras del horno, colocar las tapaderas de la pesa filtros, enfriar a temperatura ambiente y pesarlas, para determinar el peso del suelo seco más el peso de la tara (P_{ss+t}).
- Registrar el peso de la pesa filtros con sus tapas (P_t).
- Fórmula de Capacidad de campo (C_c)

$$\%C_c = \frac{(P_{sht} - P_{sst})}{(P_{sst} - P_t)} \times 100$$

Dónde:

$\%C_c$ = Porcentaje gravimétrico de contenido de agua a capacidad de campo.

P_{sht} = Peso de suelo húmedo más peso de la tara.

P_{sst} = Peso de suelo seco más peso de la tara.

P_t = Peso de la tara.

6.3.2. Determinación de Punto de Marchitez Permanente

Se considera punto de marchitez, a la cantidad de agua que queda en el suelo expresada en porciento base suelo seco, en el momento en que las plantas sufren de marchitez irreversible o permanente, es decir, es el agua que la planta no es capaz de absorber, lo cual se demuestra por sintomatología de la carencia de la misma (Mendez, Guia de practicas de laboratorio, 2012).

El coeficiente o punto de marchitez varía con el tipo de planta, el desarrollo de la misma y el tipo de suelo (Mendez, Guia de practicas de laboratorio, 2012).

El conocimiento del punto de marchitez es fundamental para poder determinar el momento de riego, el cual debe hacerse antes de que el suelo llegue al porciento de humedad correspondiente a este punto, debido a que la planta cuando la marchitez es permanente, aunque se riegue no se recupera (Mendez, Guia de practicas de laboratorio, 2012).

El agua correspondiente al punto de marchitez se encuentra fuertemente retenida en los poros finos del suelo, lo que implica que las raíces de las plantas no pueden tomarlas, ya que sus fuerzas absorción son inferiores a la fuerza de retención que ejerce el suelo.

Cabe destacar que el procedimiento a seguir en la determinación del punto de marchitez permanente es el mismo al de capacidad de campo lo único que varía es el factor de conversión en los cálculos.

6.3.3. Determinación de Textura del Suelo

La textura del suelo está basada en diferentes combinaciones de arena, limo y arcilla que integran la distribución del tamaño de partículas en una muestra de suelo. Las clases texturales se definen por la dominancia en el suelo de las propiedades de una o más fracciones. Cuando no aparece dominancia alguna tenemos la clase textural franca (Mendez, Guia de practicas de laboratorio, 2012).

La textura se determinó por medio del Método Hidrométrico de Bouyoucos, que consiste en obtener las lecturas del hidrómetro que deben de ser corregidas en base a la temperatura; si la temperatura es superior a 20 °C, los grados que excedan a este valor se multiplicaran por 0.300 y se agregan a la lectura inicial. Si la temperatura es inferior a la recomendada, se multiplican los grados que faltan y se restan a la lectura inicial o final del hidrómetro.

➤ Materiales a utilizar:

- Hidrómetro estándar, ASTM No. 152 H, con escala Bouyoucos en gr/L.
- Agitador eléctrico para dispersión (tipo licuadora, con motor de 10,000 rpm).
- Agitador de plástico para probetas de 1 L (Embolo agitador).
- Probetas de 1 L de 36 ± 2 cm.

- Botellas de plástico con tapa para agitación mecánica.
- Agitador de motor para dispersión.
- Horno, termostáticamente controlado, 105 °C, ± 5 °C.
- Balanza electrónica, ± 0.5 gr de sensibilidad.
- Hidrómetro estándar, ASTM No. 152 H, con escala Bouyoucos en gr/L.
- Agitador eléctrico para dispersión (tipo licuadora, con motor de 10,000 rpm).
- Agitador de plástico para probetas de 1 L (Embolo agitador).
- Termómetro electrónico.

➤ Reactivos:

- Alcohol etílico.
- Solución de hexametáfosfato de sodio (HMF) 50 gr/L.
- Peróxido de hidrógeno, H₂O₂ al 30%.

➤ Procedimiento

- Pesar 50.0 gr de suelo seco al aire y colocarlos en una botella resistente al calor (105° C) de 500 ml calibrada a 250 ml.
- Adicionar 50 ml de la solución hexametáfosfato de sodio HMF a una probeta y aforar a 1 L en un cuarto de temperatura controlada.
- Mezclar vigorosamente con el agitador de plástico y tomar la temperatura.
- Dar tiempo para que la suspensión se equilibre y tomar nota de la temperatura.

- Introducir el agitador manual a la probeta (Embolo agitador), y mezclar la suspensión vigorosamente, pero con precaución, sujetando la probeta de la parte baja para prevenir que se caiga. Asegúrese de que se muevan las arenas de la parte inferior de la probeta, y agite durante 1 min.
- Adicione unas gotas de alcohol amílico si la superficie de la suspensión está cubierta con espuma.
- Tan pronto haya terminado de agitar, introduzca el hidrómetro en la suspensión y tome una lectura después de 40 segundos y otra, después de 5 horas. Saque el hidrómetro, enjuague y seque.
- Introducir el hidrómetro en la solución y determine *RL* leyendo la parte superior del menisco en la escala del hidrómetro. Periódicamente, chequear *RL* durante el análisis de textura.
- Fórmulas de Textura del Suelo

Lectura a los 40 segundos, para obtener el porcentaje de limo más arcilla (% Limo + % Arcilla):

$$LC_{40S} = Li \pm FC$$

$$\bullet \quad \%Limo + \%Arcilla = \frac{LC_{40S} - Lb}{Peso\ suelo} * 100$$

Dónde:

LC_{40S} = Lectura corregida a los 40 segundos.

Li = Lectura inicial en el hidrómetro a los 40 segundos.

FC = Factor de corrección.

Lb = Lectura en el blanco.

- $\%Arena = (\%Limo + \%Arcilla)$
- $\%Limo = (\%Limo + \%Arcilla) - (\%Arcilla)$

El triángulo textural (Ver figura en anexo 1) permitirá con base al 100% compuesto de la mezcla determinará la clase textural del suelo.

6.3.4. Determinación de pH

El pH se define como el logaritmo de la inversa de la concentración de iones de hidrogeno, una solución con pH menor de 7 será ácida, si el pH es superior de 7 recibe el nombre de básica o alcalino, un pH igual a 7 corresponde a la neutralidad.

La importancia de medir el pH de un suelo radica en la disponibilidad de los nutrientes del suelo por parte de las plantas para absorberlos, ya que muchos nutrientes tienen la máxima solubilidad a pH de 6 – 7 decreciendo por encima y por debajo de tal rango.

El pH del suelo es medido por lo general potenciometricamente en el sobrenadante en equilibrio con la suspensión del suelo; los valores de pH dependen de las características del suelo la concentración de CO₂ disuelto y el contenido de humedad al cual se realiza la medición.

El pH del suelo está influenciado por la composición y naturaleza de los cationes intercambiables, la composición, naturaleza y concentración de las sales solubles y la presencia o ausencia de yeso y carbonatos de metales alcalinos- térreos.

En la siguiente tabla se muestra la clasificación de pH

Tabla 2. Clasificación de pH.

RANGO DE pH	CLASIFICACION
< 4.60	Extremadamente ácido
4.60 – 5.19	Muy fuertemente ácido
5.20 – 5.59	Fuertemente ácido
5.60 – 6.19	Medianamente ácido
6.20 – 6.59	Ligeramente ácido
6.60 – 6.79	Muy ligeramente ácido

6.80 – 7.19	Neutro
7.20 – 7.39	Muy ligeramente alcalino
7.40 – 7.79	Ligeramente alcalino
7.80 – 8.39	Medianamente alcalino
8.40 – 8.79	Fuertemente alcalino
8.80 – 9.39	Muy fuertemente alcalino
> 9.40	Extremadamente alcalino

Fuente: (López & Méndez, 2012).

➤ Método potenciométrico

- El método potenciométrico o electroquímico para medir pH de un suelo es el más utilizado. Con este método se mide el potencial de un electrodo sensitivo a los iones H⁺ (electrodo de vidrio) presentes en una solución problema; se usa como referencia un electrodo cuya solución problema no se modifica cuando cambia la concentración de los iones por medir. El pH del suelo es potenciométricamente medido en la suspensión sobrenadante en una mezcla suelo: líquido con una relación de 1:2.5, respectivamente. El líquido puede ser agua (pH-H₂O) o una solución de KCl 1 M (pH-KCl).

➤ Materiales y equipos a utilizar son:

- pH-metro equipado con electrodo de vidrio. (indicador y de referencia).
- Frascos de polietileno de 250 ml.

➤ Reactivos

- Soluciones buffer, pH para la calibración del agua.
- Agua destilada.

➤ Procedimiento

- Verificar que el equipo este calibrado (pH-metro).
- Pesar 10 g de suelo seco al aire en frasco de boca ancha. Incluir una muestra control.
- Agregar 25 ml de líquido (Agua o solución de KCl 1 M) y tapar el frasco.
- Agitar por 2 horas.
- Antes de abrir el frasco para la medición, agitarlo con la mano una o dos veces.
- Introducir el electrodo en la parte de arriba de la suspensión.
- Leer el pH cuando la lectura se ha estabilizado (con exactitud de 0.1 unidad).
- Anotar la lectura.

En este caso no hay ninguna fórmula que aplicar, puesto que el pH-Metro muestra en la pantalla la lectura correcta del nivel de pH que posee el suelo.

6.3.5. Determinación de Densidad Real (Dr)

La densidad real o densidad de la fase solida del suelo es la relación entre la masa del suelo seco y la masa de igual volumen de agua. El valor de la densidad real depende de la naturaleza de los minerales integrantes y de la cantidad de sustancias orgánicas (Méndez & López, 2011).

Para la mayoría de los suelos el valor medio de la densidad de su fase solida es de 2.65 gr/cm³ variando en función de las causas indicadas. Cuando más humus, contiene el suelo tanto menor es la densidad real.

El conocimiento de la densidad real es necesario para calcular la porosidad del suelo y además da cierta orientación sobre el grado de desarrollo del suelo o indica la relación entre la parte mineral y orgánica (Mendez, Guia de practicas de laboratorio, 2012).

En la siguiente tabla se muestran los parámetros para la evaluación de densidad real.

Tabla 3. Evaluación de Dr.

Densidad Real gr/cm ³	Evaluación
<2.40	Bajo
2.40 – 2.60	Medio
2.60 – 2.80	Alto
>2.80	Muy Alto

Fuente: (Méndez & López, 2011)

➤ Método picnómetro

- Esto nos sirve para comparar las densidades de dos líquidos pesando el picnómetro con cada líquido por separado y comparando sus masas. Es usual comparar la densidad de un líquido respecto a la densidad del agua pura a una temperatura determinada, por lo que al dividir la masa de un líquido dentro del picnómetro respecto de la masa correspondiente de agua, obtendremos la densidad relativa del líquido respecto a la del agua a la temperatura de medición.

➤ Materiales y equipos a utilizar son:

- Balanza electrónica, ± 0.01 gr de sensibilidad.
- Embudos de vidrio.
- Picnómetros.
- Beakers.

Procedimiento

- Se hierve suficiente agua destilada durante 30 min y se deja refrescar.
- Se hace la pesada (PP) es decir el peso del picnómetro o tara del mismo bien limpio y seco.
- El picnómetro se llena completamente con agua destilada y se enrasa con el tapón de cristal. Después se seca por fuera.

- Se hace la pesada 1, ($P1 = PA + PP$) peso del agua que ocupa todo el picnómetro (A) más el peso del picnómetro (PP) se toma T1.
- Se busca la densidad ($d1$) del agua a la T1 en la tabla.
- Se vacía el picnómetro y se pone a secar a la estufa y cuando este seco se saca y se deja refrescar.
- Se limpia la humedad de una muestra de suelo preparado para análisis físico directamente en la estufa a los 105 °C durante 8 horas. Una porción de esta muestra seca es la que se tomara para efectuar la determinación.
- Se echa una pequeña cucharadita de la muestra seca en el picnómetro y se hace la pesada 2 ($P2 = PS + PP$) peso del suelo seco más el peso del picnómetro.
- Se añade agua destilada de manera que sature toda la muestra y que quede además una lámina delgada cubriendo la superficie.
- Se hace la pesada 3 ($P3 = PA + PS + PP$) que no es más que el peso del conjunto de la parte del agua más el suelo seco más el picnómetro. Se toma la temperatura T3.
- Se busca la densidad ($d3$) del agua a la temperatura T3 en la tabla.

Tabla 4. Clasificación de Dr.

T (°C)	Densidad (gr/cm ³)	T (°C)	Densidad (gr/cm ³)	T (°C)	Densidad (gr/cm ³)
0.0	0.999	12.5	0.999	25.0	0.997
0.5	0.999	13.0	0.999	25.5	0.997
1.0	0.999	13.5	0.999	26.0	0.997
1.5	0.999	14.0	0.999	26.5	0.997
2.0	0.999	14.5	0.999	27.0	0.997
2.5	0.999	15.0	0.999	27.5	0.996
3.0	0.999	15.5	0.999	28.0	0.996
3.5	0.999	16.0	0.999	28.5	0.996

4.0	1.000	16.5	0.999	29.0	0.996
4.5	1.000	17.0	0.999	29.5	0.996
5.0	1.000	17.5	0.999	30.0	0.996
5.5	1.000	18.0	0.999	30.5	0.996
6.0	1.000	18.5	0.998	31.0	0.995
6.5	1.000	19.0	0.998	31.5	0.995
7.0	1.000	19.5	0.998	32.0	0.995
7.5	1.000	20.0	0.998	32.5	0.995
8.0	1.000	20.5	0.998	33.0	0.995
8.5	1.000	21.0	0.998	33.5	0.995
9.0	1.000	21.5	0.998	34.0	0.994
9.5	1.000	22.0	0.998	34.5	0.994
10.0	1.000	22.5	0.998	35.0	0.994
10.5	1.000	23.0	0.998	35.5	0.994
11.0	1.000	23.5	0.998		
11.5	1.000	24.0	0.997		
12.0	1.000	24.5	0.997		

Fuente: (Méndez & López, 2011)

- **Fórmula para determinar Densidad real**

$$Dr = \frac{d_1 \times d_3 \times P_s}{d_3(P_1 - P_p) - d_1(P_3 - P_s - P_p)}$$

Dónde:

Dr = Densidad real (gr/cm³).

d₁ = densidad del agua a la T₁, en grados °C.

d₃ = densidad del agua a la T₃, en grados °C.

P₁ = Peso del picnómetro más agua (gr).

P_p = Peso del picnómetro vacío (gr).

P₃ = Peso del conjunto agua más suelo más picnómetro (gr).

P_s = Peso del suelo (gr).

6.3.6. Determinación de Densidad Aparente (Da)

La determinación de la densidad aparente tiene un valor extraordinario para conocer el estado físico del suelo, ya que refleja el comportamiento dinámico de la estructura y la porosidad debido a que varía por la acción de agentes externos e internos como por ejemplo la compactación y la dispersión de las partículas respectivamente.

La densidad aparente constituye el peso de una unidad de volumen de suelo seco con una estructura natural. El termino estructura natural significa que su volumen comprende tanto las partículas sólidas como los poros del suelo.

La densidad aparente es base para el cálculo de la porosidad total, el peso de la hectárea surco, la humedad en base al volumen y la norma de riego (Mendez, Guia de practicas de laboratorio, 2012).

Tabla 5. Evaluación Densidad Aparente.

Evaluación Densidad Aparente (Da)	gr/cm ³
Muy Baja	<1.0
Baja	1.0– 1.2
Media	1.2 – 1.45
Alta	1.45 – 1.60
Muy Alta	>1.60

Fuente: (Méndez & López, 2011).

➤ Método cilindro

- El método del cilindro consiste en introducir un cilindro biselado de volumen conocido en el suelo, enrasando el suelo con los bordes, secar la muestra en estufa a 105° C hasta peso constante.

➤ Materiales y equipos a utilizar son:

- Balanza electrónica, ± 0.01 gr de sensibilidad.
- Horno, termostáticamente controlado, $105\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Pesa filtros, con sus tapas.
- Tamiz de 2 mm de Diámetro.
- Equipo de muestreo (cilindros, martillo, porta cilindro, densímetro).

➤ Procedimientos

- Anotar el peso de los cilindros vacíos (CW).
- Preparar una superficie plana, ya sea horizontal o vertical a la profundidad requerida en el hoyo de muestreo.
- Si el suelo es muy arcilloso y compacto, se usa el cilindro de 5 cm de altura y se unta con vaselina para evitar la compactación.
- Si el suelo es muy arenoso y suelto se usa el cilindro de 11 cm para evitar que la muestra se desintegre.
- Presionar el cilindro dentro del suelo. Esta actividad realízela con precaución para prevenir la compactación. Remover el cilindro del revestimiento interno, rebanar el suelo sobresaliente de los extremos del cilindro, se toma por ambos extremos, se anota el número del cilindro y se sitúa en la transportación.
- Secar el cilindro con la muestra en el horno a $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta que el peso sea constante. Anotar el peso seco al horno (ODW).
- Medir y anotar el volumen del cilindro (CV).

- Si la muestra contiene fragmentos de roca, tamizar la muestra húmeda a través de un tamiz de 2 mm. Secar y pesar los fragmentos de roca que son retenidos en el tamiz. Anotar el peso de los fragmentos de roca (RF). Determinar la densidad de las rocas.
- Fórmula para determinar de densidad aparente

$$Da = \frac{ODW - RF - CW}{CV - (RF/PD)}$$

Dónde:

- Da = Densidad aparente (gr/cm³) en estado de campo.
- ODW = Peso seco al horno (gr).
- RF = Peso de los fragmentos de roca (gr).
- CW = Peso del cilindro vacío (gr).
- CV = Volumen del cilindro (cm³).
- PD = Densidad de los fragmentos de roca (gr/cm³).

6.3.7. Determinación de Porcentaje de Humedad

La determinación de la humedad del suelo es de gran importancia debido a que el agua constituye un factor determinante en la formación, conservación, fertilidad y productividad del mismo, así como para la germinación, crecimiento y desarrollo de las plantas cultivadas. El conocimiento de la humedad y su dinamismo es la base de la caracterización hidrofísica del suelo. (Mendez, Guía de practicas de laboratorio, 2012). Ahora bien, esta cantidad de agua encontrada se expresa en porcentaje (%), para establecer una relación de humedad entre ella y el área total representada.

➤ Materiales y equipos a utilizar son:

- Balanza Electrónica, ± 0.01 gr de sensibilidad.
- Horno, termostáticamente controlado, $105\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Termómetro, 0 a $200\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Pesa filtros para pesar y secar.

➤ Procedimiento

- Si se va a determinar la humedad tal como se encuentra en el campo, se lleva la capsula al lugar de la toma y se extrae una muestra preferentemente con barrena a la profundidad deseada llenando la capsula hasta $\frac{3}{4}$ de su capacidad.
- Si se quiere determinar la humedad a un suelo preparado para análisis físico se toman 3 cucharaditas del envase y se depositan en la capsula de aluminio.
- Se hace la pesada uno: peso del suelo húmedo más la tara $P_1 = (P_{sh} + t)$.
- Se sitúan las capsulas con las muestras en la estufa a $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 8 horas como mínimo.
- Pasadas las 8 horas se extraen, se tapan y se colocan en la desecadora hasta que alcance la temperatura ambiente.
- Se hace la pesada dos: peso del suelo seco más la tara $P_2 = P_{ss} + t$.
- Restando P_2 de P_1 obtenemos la cantidad de agua perdida que nos servirá para calcular los distintos % de humedad.

➤ Fórmula para determinar el porcentaje de humedad

%h_{bsh} = Porcentaje de humedad en base a suelo húmedo

$$\text{Peso del suelo húmedo (Psh)} - 100\% \qquad \%x = \frac{a}{P_{sh}} 100$$

$$\text{Agua (a)} \qquad - \qquad \%x$$

% hbss = Porcentaje de humedad en base al suelo seco

$$\text{Peso del suelo seco (Pss)} - 100\% \qquad \%y = \frac{a}{P_{ss}} 100$$

$$\text{Agua (a)} \qquad - \qquad \%y$$

% hbv = Porcentaje de humedad en base al volumen

$$\text{Volumen (v)} - 100 \% \qquad \%z = \frac{a}{v} 100$$

$$\text{Agua (a)} \qquad - \qquad \%z$$

La fórmula anterior puede ser transformada a expresiones conocidas, veamos: si la multiplicamos arriba y abajo por un mismo factor, esta no se altera.

$$\%z = \frac{a}{v} 100 \frac{P_{ss}}{P_{ss}} = \left(\frac{a}{P_{ss}} 100 \right) \left(\frac{P_{ss}}{v} \right) \qquad (1)$$

$$\text{Ahora bien: } \frac{a}{P_{ss}} 100 = \%y \qquad (2)$$

$$\frac{P_{ss}}{v} \text{ Es igual a la densidad aparente del suelo } \frac{P_{ss}}{v} = Da \qquad (3)$$

Luego sustituyendo (2) y (3) en (1) tendremos:

$$\%z = \% \text{ hbss } \times Da$$

De estas 3 expresiones las más utilizadas es el % hbss, después le sigue el % hbv que se utiliza sobre todo en los cálculos de riego y por último el % hbsh que es muy poco usada.

6.4. Procedimiento para recolección de datos de pruebas de infiltración de agua en el suelo

La velocidad de infiltración es un índice hidrofísico del suelo que se maneja bajo diferentes términos como son permeabilidad, infiltración, percolación, etc. Este en definitiva indica el paso del agua a través de la masa del suelo, su cantidad y velocidad estará determinada por las características del perfil del suelo y en buena medida por el espacio de macro poros. (Mendez, Guia de practicas de laboratorio, 2012)

Para evaluar la productividad del suelo hay que considerar su velocidad de infiltración, lo cual está en relación directa con el drenaje. Un suelo de buen drenaje corresponde con una alta velocidad de infiltración.

Los suelos arcillosos y arcillo arenosos de estructura granular resistente al agua, así como los suelos arenosos y areno arcillosos se distinguen por su alta velocidad de infiltración (Mendez, Guia de practicas de laboratorio, 2012).

6.5. Sistematización de mapas temáticos en software

ArcGis 10.3

Una vez con los resultados obtenidos por medio de varios métodos en laboratorio de las propiedades hidrofísicas del suelo, abordar el software fue de una manera más eficiente para realizar los diferentes mapas de tipos de suelo que posee la finca. Con la georreferenciación de las muestras la representación fue de manera más técnica en la interpretación de resultados del análisis en laboratorio de edafología.

Una vez con los resultados obtenidos por medio de varios métodos en laboratorio de las propiedades hidrofísicas del suelo, abordar el software fue de una manera más eficiente para realizar los diferentes mapas de tipos de suelo que posee la finca. Con la georreferenciación de las muestras la representación fue de manera más técnica en la interpretación de resultados del análisis en laboratorio de edafología.

6.6. Evaluación de Coeficientes de Uniformidad de Caudales y de Presiones

Para evaluar la uniformidad se utilizan dos coeficientes: El coeficiente de uniformidad de caudales (CUC) y el coeficiente de uniformidad de presiones (CUP). Con estos valores detectaremos faltas de eficiencia y solucionaremos pequeños problemas que mejoraran el funcionamiento de la instalación (Úbeda M., 2018).

- **Cálculo del coeficiente de uniformidad de caudales:**

Para el cálculo del coeficiente de uniformidad de caudales, se elegirá un número determinado de emisores distribuidos uniformemente dentro de la subunidad de riego representativa del conjunto de la instalación. En general, se recomienda seleccionar 16 emisores para calcular este coeficiente. Para ello se eligen los laterales más cercano y más lejano de la toma de la tubería terciaria y los dos intermedios. En cada lateral se seleccionan 4 emisores siguiendo el mismo criterio, es decir, el más cercano y el más lejano de la toma lateral y los dos intermedios. (Úbeda M. , 2018)

- **Cálculo del coeficiente de uniformidad de presiones:**

Para concluir el estudio de la subunidad, se calcula el coeficiente de uniformidad de presiones (CUP), que determina la homogeneidad de la subunidad en cuanto a presiones de los emisores. Para determinar este coeficiente medimos las presiones en cada uno de los emisores siempre que sus características o formas de inserción en el lateral lo permitan.

Materiales:

- Cintas de goteo.
- Tuberías de PVC.
- Cabezal de riego.
- Crónometro.
- Probeta graduada de 10 ml.
- Manómetro de glicerina con tubo de pitot.

- **Cálculo del coeficiente de uniformidad de caudales:**

1. Seleccionar el área de la práctica.
2. Instalar el sistema de riego, utilizando cinta de riego por goteo.
3. Una vez instalado el sistema de riego, accionar el equipo de bombeo y esperar un momento para que se estabilice el sistema.
4. Seleccionar los laterales al inicio, 1/3, 2/3 y final de la subunidad de riego.

5. Identificar los emisores en los laterales seleccionados, para realizar la medición de los caudales.
6. Una vez identificados los emisores, con la probeta graduada medir el volumen de agua suministrado por los emisores que se hayan seleccionado en un tiempo determinado, entre 3 – 5 minutos para cada emisor.
7. Anotar en la hoja de campo cada una de las lecturas de los emisores evaluados.
8. Una vez conocido el caudal en cada uno de los emisores seleccionados, se calculará el coeficiente de uniformidad de caudales siguiendo los pasos que se indican a continuación:
 - a) Se calcula la media de los caudales de los emisores que representan la cuarta parte de más bajo caudal ($q_{25\%}$). En caso de seleccionar 16 emisores calcularíamos la media de los 4 de menor caudal.
 - b) Se calcula la media de los caudales medios en todos los emisores (q_m).
 - c) Una vez se conocen la media de los caudales de los emisores que representan la cuarta parte de más bajo caudal y la media de todos los caudales medios ($q_{25\%}$ y q_m), se calcula el coeficiente de uniformidad.

- **Cálculo del coeficiente de uniformidad de presiones:**

1. En los laterales seleccionados para la prueba de uniformidad de caudales, se realizará la evaluación de la uniformidad de presiones.
2. Al final de cada lateral, se colocará el manómetro introduciendo el tubo de pitot al interior de la cinta.
3. Anotar en la hoja de campo la lectura del manómetro en PSI, en cada uno de los laterales seleccionados.
4. Anotar el modelo de la cinta de goteo para investigar en catalogo el coeficiente de descarga.

5. Una vez conocida la presión en cada uno de los laterales seleccionados, se calculará el coeficiente de uniformidad de presiones siguiendo los pasos que se indican a continuación:

- a) Se calcula la media de las presiones de los laterales que representan la cuarta parte de más baja presión ($p_{25\%}$).
- b) Se calcula la media de las presiones medias en todos los laterales (p_m).
- c) Una vez se conocen la media de las presiones de los laterales que representan la cuarta parte de más baja presión y la media de todas las presiones ($p_{25\%}$ y p_m), se calcula el coeficiente de uniformidad debido a presiones.

➤ Fórmula para el cálculo de uniformidad de presiones

$$CUC = 100 * \frac{q_{25\%}}{q_m}$$

Dónde:

CUC = Coeficiente de uniformidad de caudales en %.

$q_{25\%}$ = Cuarta parte de más bajo caudal (lph).

q_m = Media de los caudales medidos (lph).

$$q_{25\%} = \frac{\text{cuarta parte de emisores de menor caudal}}{4}$$
$$q_m = \frac{\text{caudales medios en todos los emisores}}{n}$$

➤ Fórmula para el cálculo de coeficiente de uniformidad de caudales

$$CUP = 100 * \left[\frac{P_{25\%}}{P_m} \right]^x$$

Dónde:

CUP = Coeficiente de uniformidad de presiones en %.

$P_{25\%}$ = Medida de la cuarta parte de menor presión (psi).

P_m = Presión media en todos los emisores (psi).

x = Coeficiente de descarga (dado por el fabricante).

En esta fórmula, “x” es el coeficiente de descarga y se trata de una característica del emisor que el fabricante tiene que facilitar. El coeficiente de descarga es muy bajo (menor de 0.5) para los emisores cuyo caudal se ve muy afectado por las variaciones de presión, y más alto (mayor de 0.5) a medida que los cambios de presión influyen menos en el caudal que suministran.

El coeficiente de uniformidad debido a presiones no es necesario para el cálculo de la uniformidad de la instalación. Sin embargo, es conveniente conocerlo para detectar las posibles diferencias de presiones que se puedan producir a lo largo de la red de riego y así poder solucionarlas mediante la instalación, por ejemplo, de un regulador de presiones. En todo caso, esta determinación es imprescindible en la evaluación que debe realizarse a la recepción de la obra para verificar que las dimensiones tanto de la red como de los elementos de regulación son las correctas (Úbeda M. , 2018).

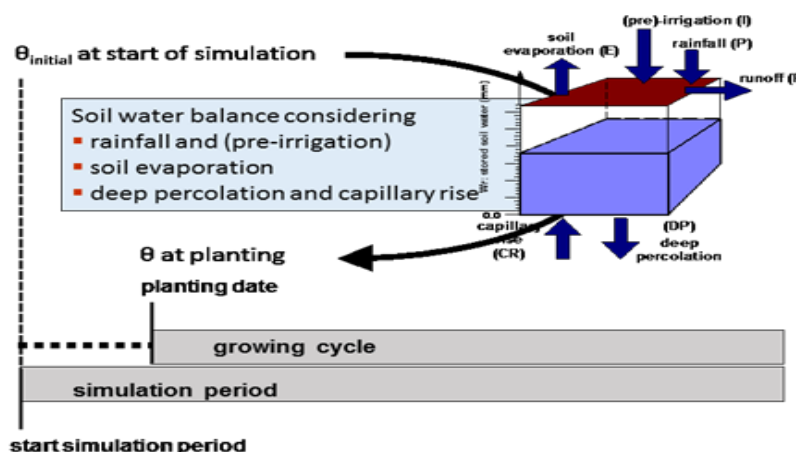
6.7. Evaluación del sistema de riego en software AquaCrop

Para comenzar la simulación de la humedad del suelo y balance de sales de la zona radicular, es necesario especificar las condiciones iniciales. Dado el contenido inicial de humedad del suelo y contenido de sales, AquaCrop calcula la cantidad de agua y sales retenidas en la zona radicular para el resto del período de simulación.

➤ Muestreo del perfil del suelo

El contenido inicial de humedad del suelo y sales puede obtenerse al medir el contenido de humedad del suelo y contenido de sales en el

Figura 27 Muestreo del Perfil de suelo.



Fuente: (FAO, 2017).

perfil del suelo. Idealmente el muestreo se hace en el día de siembra/plantación. En ese caso, el inicio del período de simulación debe coincidir con la fecha de siembra/plantación (es decir, vinculado con el ciclo de crecimiento).

En ausencia de observaciones al momento de siembra/plantación, pueden utilizarse mediciones o muestras recogidas con anterioridad para determinar el contenido inicial de humedad del suelo. En este caso la simulación debería comenzar el día en que se hizo el muestreo (antes de la siembra/plantación) y el período de simulación ya no se vincula con el ciclo de crecimiento. El contenido inicial (**Figura 27**) de humedad del suelo en el momento de siembra/plantación se estima al actualizar θ_{initial} , para cada día antes del inicio del ciclo de crecimiento, con la precipitación infiltrada, (pre)-riego, evaporación del suelo, percolación profunda y ascenso capilar.

➤ **Estimado del contenido inicial de humedad del suelo**

En ausencia de mediciones o muestreo algunos, es necesario estimar el contenido inicial de humedad del suelo:

- Para un clima donde el período de invierno se caracteriza por abundantes precipitaciones y una pequeña a insignificante demanda evaporativa de la atmósfera (es decir, con la E_{To} cerca de cero) como sucede en el noroeste de Europa, es seguro asumir que en invierno (enero) el contenido inicial de humedad en el suelo está cerca de la Capacidad de Campo. Si bien el cultivo sólo se siembra/planta en primavera (marzo/abril) la simulación comienza el 1 de enero dado que en ese día puede asumirse que la humedad inicial del suelo se encuentra a Capacidad de Campo;
- Para un clima donde el período del verano se caracteriza por la ausencia de precipitación y una alta demanda evaporativa de la atmósfera (con una evapotranspiración de referencia (E_{To}) de 5 mm/día o más) como sucede en la región del Mediterráneo, es seguro asumir que al final del período del verano (mediados de agosto), el contenido inicial de humedad del suelo estará cerca del Punto de Marchitez Permanente (PWP). Aunque el cultivo se siembra/planta cuando han comenzado las lluvias de invierno

(noviembre/diciembre), la simulación comienza ya a mediados del verano (15 de agosto) porque en ese momento puede hacerse un buen estimado del contenido inicial de humedad del suelo (PWP).

➤ **Generación basada en precipitación**

Al seleccionar un criterio, el inicio del ciclo de crecimiento se determina evaluando los datos de precipitación antes de plantar/sembrar. Pueden seleccionarse los siguientes criterios:

- La precipitación acumulativa desde el inicio del período de búsqueda es igual al valor especificado o lo supera;
- La precipitación observada durante una cantidad de días sucesivos es igual a un valor especificado o lo supera. El valor se refiere a la cantidad de precipitación que se requiere para humedecer la parte superior del perfil del suelo ($Z_{top} \approx 0.2 \text{ à } 0.3 \text{ m}$) hasta la capacidad de campo. Al asumir que la capa superior del suelo la seca el aire ($= 0.5 \theta_{PWP}$), la precipitación requerida es $1000 \times (\theta_{FC} - 0.5 \theta_{PWP}) \times Z_{top} \text{ mm}$, que es alrededor de 20 a 40 mm.
- La precipitación de 10 días es igual a un valor predeterminado o lo supera;
- La precipitación de 10 días supera la fracción de la ETo de 10 días predeterminada.

Las últimas dos opciones son particularmente útiles si sólo hay disponible precipitación de 10 días o mensual.

Al especificar el primero y el último día en una 'Ventana de búsqueda', sólo se evalúa la precipitación durante la ventana especificada. Dado que la generación se basa en la precipitación, la opción podría ser apropiada para agricultura de secano, donde la siembra o plantación suelen ser determinadas por eventos de precipitación.

➤ **Generación basada en la temperatura del aire**

Al seleccionar un criterio, el inicio del ciclo de crecimiento se determina evaluando los datos de la temperatura del aire antes de plantar/sembrar. Pueden seleccionarse los siguientes criterios:

- La temperatura mínima del aire diaria, en cada día de un número dado de días sucesivos, es igual a una temperatura mínima del aire especificada o la supera;
- La temperatura promedio del aire diaria, en cada día de un número dado de días sucesivos, es igual a una temperatura promedio del aire especificada o la supera;
- La suma de Grados Día en un número de días sucesivos es igual a grados día acumulados especificados o los supera;
- Los Grados Día acumulados desde el inicio del período de búsqueda son iguales a los grados día acumulados especificados o los superan.

Al especificar el primero y el último día en una 'Ventana de búsqueda', sólo se evalúa la temperatura durante la ventana especificada. Esta opción podría ser apropiada con el objeto de estimar para años futuros las fechas de plantación de cultivos de primavera en climas frescos, dado que es probable que el cambio climático aumente la temperatura del aire en muchas regiones.

- Días siguientes.

La primera incidencia de la fecha de inicio es la primera fecha para la cual aplica el criterio seleccionado. También puede seleccionarse una de las siguientes incidencias del día de inicio. Cuando el inicio de la estación lluviosa o la primavera no se conoce con certeza en la primera incidencia del criterio seleccionado, seleccionar una de las siguientes incidencias o especificar un criterio más estricto podría evitar la senescencia prematura del dosel y el fracaso completo del cultivo después de la germinación.

➤ **Salinidad del suelo**

Las sales entran al perfil del suelo como solutos con el agua del riego o a través de ascenso capilar desde una capa freática somera. La cantidad en la cual las

sales se acumulan en el suelo depende de la calidad y la cantidad del agua de riego que se infiltra al suelo, la frecuencia del humedecimiento, la idoneidad de la lixiviación, la magnitud de la evaporación del suelo y la transpiración del cultivo (desarrollo del cultivo y condiciones del clima), características físicas del suelo de las distintas capas del perfil del suelo, y el contenido de sales y profundidad de la capa freática. Las sales son transportadas fuera del perfil del suelo (lixiviadas) mediante el agua drenada.

El estrés por salinidad del suelo se simula con un coeficiente del estrés por salinidad del suelo ($K_{s_{salt}}$). La conductividad eléctrica promedio del extracto de suelo saturado (E_{Ce}) de la zona radicular es el indicador del estrés por salinidad del suelo. Los umbrales superior e inferior para E_{Ce} son específicos al cultivo. El estrés por salinidad del suelo resulta en una cobertura del dosel (CC) más pequeña y un cierre de las estomas.

- **Cobertura del dosel más pequeña:** el estrés por salinidad del suelo disminuye la capacidad de crecimiento del cultivo, así como también la cobertura del dosel máxima (CC_x) que puede alcanzarse a mediados de la estación. Debido al estrés por salinidad en el suelo, CC disminuirá en forma constante una vez que se alcance CC_x a mediados de la estación;
- **Cierre estomático:** debido a las fuerzas osmóticas, que disminuyen el potencial de humedad del suelo, las sales en la zona radicular hacen que el agua esté menos disponible para el cultivo. La salinidad del suelo disminuirá el coeficiente de estrés hídrico del suelo para el cierre estomático ($K_{s_{sto}}$). Además, es probable que las fuerzas osmóticas alteren también los umbrales superior e inferior para el agotamiento de la zona radicular en los cuales el estrés hídrico del suelo afecta el cierre estomático ($K_{s_{sto}}$). Esto afectará la transpiración del cultivo.

Dado que los efectos individuales del estrés por salinidad sobre la cobertura del dosel y el cierre estomático no están bien documentados en la literatura para simulación en AquaCrop, el usuario puede calibrar la respuesta del cultivo al estrés por salinidad en el menú **Crop characteristics** (Características del cultivo).

Cuando ocurre estrés por salinidad del suelo, AquaCrop ajusta los valores de los coeficientes del estrés (que afectan el desarrollo del dosel y el cierre estomático) de modo que la transpiración del cultivo y la biomasa (B) correspondiente simuladas pasan a ser iguales a la reducción requerida dada por K_{salt} .

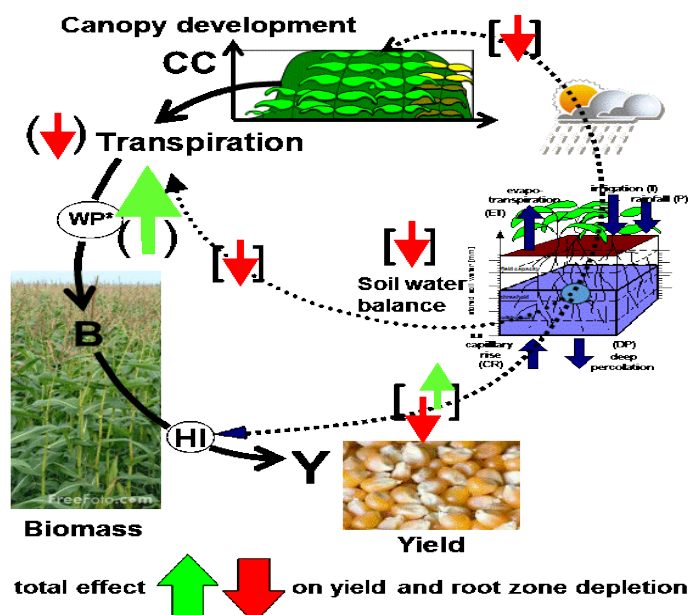
➤ Efecto del cambio climático

Las simulaciones de rendimientos de cultivos futuros deben considerar:

- Condiciones climáticas alteradas: es probable que el aumento esperado en la temperatura mundial del aire de la superficie durante el siglo XXI incremente el poder de evaporación de la atmósfera (es decir, ETo , la evapotranspiración de referencia), para alterar la cantidad y patrón de la precipitación, y potenciar la frecuencia e intensidad de los eventos climáticos extremos. El efecto de condiciones climáticas alteradas sobre la producción de cultivos se toma en cuenta en las simulaciones que se ejecutan con datos climáticos futuros (Figura 28):
- El aumento de la concentración atmosférica de CO_2 ($[CO_2]$): el aumento en $[CO_2]$, que induce la fertilización con CO_2 , reduce (ligera-

mente) la transpiración del cultivo (Tr) y aumenta (de manera marcada) la productividad del agua para biomasa (WP^*). El efecto de la disminución en la transpiración del cultivo para una concentración

Figura 28. Efecto del Cambio Climático.



Fuente: (FAO, 2017)

elevada de $[CO_2]$ se considera al multiplicar el coeficiente de transpiración del cultivo ($KcTr, x$) por un factor de ajuste ($fCO_2, Tr \leq 1$). Al ejecutar una simulación con una $[CO_2]$ distinta al valor de referencia (i.e. 369.41 ppm para el año 2000), se ajusta WP^* con un factor de corrección ($fCO_2 > 1$ para $[CO_2] > 369.1$ ppm).

➤ Evaluación de Simulaciones

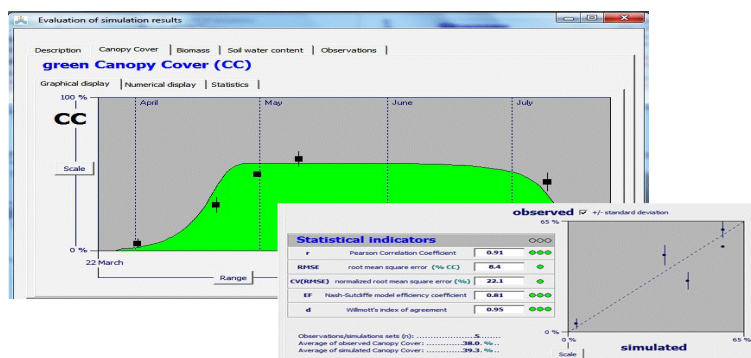
Cuando el rendimiento simulado del cultivo difiere del rendimiento observado, algunos de los datos de entrada podrían estar errados. Al examinar los datos de entrada, es esencial hacer las verificaciones a lo largo de una secuencia, las cuales siguen el orden del programa de cálculo. Muestra el programa de cálculo de AquaCrop, junto con los parámetros y estreses de los cultivos que rigen la:

1. Simulación de la Cobertura del Dosel verde (CC): la expansión, la conductancia y la senescencia de la CC son determinantes clave de la cantidad de agua transpirada y la cantidad de biomasa producida. El desarrollo de la CC se describe mediante parámetros conservativos y específicos a la variedad. El agua, la salinidad del suelo y el estrés por fertilidad del suelo pueden reducir la CC en su desarrollo potencial;
2. Simulación de la transpiración del cultivo (Tr): Tr es proporcional a CC. El estrés por frío, y el déficit y el exceso de agua, así como la salinidad del suelo en la zona radicular, pueden reducir Tr como resultado del cierre estomático;
3. Simulación de la producción de biomasa aérea (B): B es proporcional a la cantidad acumulativa de agua transpirada. El estrés por fertilidad del suelo puede reducir B ;
4. La simulación del rendimiento del cultivo (Y): Y se calcula como el producto de B final y un índice de cosecha (HI). El HI real se obtiene al ajustar, durante la simulación, el Índice de Cosecha de referencia (Hl_0) con un factor de ajuste por efectos del estrés.

6.7.1. Cobertura del dosel verde (CC) –Paso 1

- Revisar si los parámetros del cultivo están adecuadamente ajustados al

Figura 29. Parametros del Cultivo.



Fuente: (FAO, 2017)

medio ambiente y a la variedad:

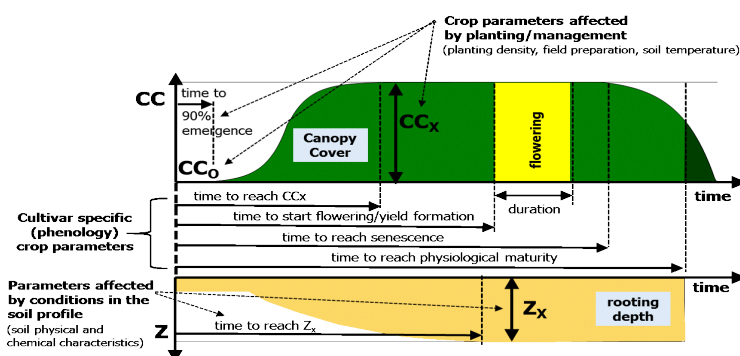
Una primera revisión debería consistir en verificar si los parámetros no conservativos del cultivo fueron ajustados apropiadamente a la variedad seleccionada,

el modo de plantación, manejo de campo o condiciones en el perfil del suelo como se muestra en la Figura (Figura 29).

➤ Comparar CC observada con simulada:

Los parámetros conservativos y ajustados no conservativos del archivo del cultivo describen el desarrollo potencial del dosel (CC) en ausencia de todo estrés. Cuando la humedad del suelo, la salinidad del suelo y/o el estrés por fertilidad del suelo afectan el desarrollo del cultivo, la CC simulada (CCsim) será distinta de su valor potencial. Comparar por tanto CCsim con los datos recogidos en el campo (CCobs). Para el estudio de la evaluación

Figura 30. Evaluación de Simulación de Resultados.



Fuente: (FAO, 2017)

de la CC, deben hacerse varias observaciones (distribuidas en forma aleatoria en el campo) varias veces durante el ciclo de crecimiento. CCoobs puede estimarse a ojo en el campo, al evaluar las secciones sombreadas en una regla graduada colocada en la superficie del suelo cerca del mediodía, o derivándola de fotografías del dosel tomadas desde arriba con una cámara digital.

Al ejecutar una simulación, los datos de campo observados (especificados en el menú **Field data**) y los resultados de la simulación se grafican juntos en el menú **Evaluation of simulation results** (Evaluación de resultados de la simulación) (Figura 30). A la par de una verificación visual, existen disponibles indicadores estadísticos (ver manual de referencia de AquaCrop) para evaluar la simulación. Dado que el desarrollo de la cobertura del dosel lo afecta (1) la fertilidad el suelo, (2) la salinidad del suelo y (3) el estrés hídrico del suelo, una simulación deficiente de esos estreses en la zona radicular podría ser la razón de un encaje deficiente entre la cobertura del dosel observada y la simulada:

1. Verificar si la cantidad de fertilizantes aplicada en el campo concuerda con el nivel de fertilidad del suelo (potencial producción de biomasa relativa) que se especifica en el menú Field **management** (Manejo de campo);
2. Ajustar, si es necesario, la ECe inicial, y/ la ECw del agua de riego y la capa freática, si hay una discrepancia entre las sales entrantes y salientes reales y simuladas;
3. La evaluación del contenido de humedad del suelo simulado se trata más adelante en la.

6.7.2. Transpiración del cultivo (Tr) – Paso 2

La transpiración del cultivo (Tr) se calcula al multiplicar la evapotranspiración de referencia (ET_o) con el coeficiente de transpiración del cultivo y tomar en cuenta el efecto del estrés por frío e hídrico con la ayuda de coeficientes de estrés. El coeficiente de transpiración del cultivo es proporcional a la cobertura del dosel verde. El factor proporcional y los umbrales y formas de las funciones de estrés son parámetros conservativos del cultivo y no deben ajustarse.

➤ **Verificar la evapotranspiración de referencia (ET_o):**

AquaCrop se ejecuta con ET_o estimado con el método de FAO Penman-Monteith. Para verificar si ET_o está bien calculada, los valores (diarios) de ET_o utilizados para simulaciones pueden compararse con los valores promedio mensuales especificados en el programa New_LocClim para el lugar particular. Los dos conjuntos deberían tener el mismo orden de magnitud.

➤ **Verificar el contenido inicial de humedad del suelo (al inicio del período de simulación):**

Las simulaciones del balance hídrico del suelo son sensibles a las condiciones iniciales. Si el contenido de humedad del suelo al inicio de las simulaciones no está bien definido, el contenido estimado de humedad del suelo en los siguientes días también podría encontrarse fuera de rango. Dado que el contenido de humedad del suelo simulado en la zona radicular afecta de manera significativa el desarrollo del cultivo (CC), la transpiración (Tr), la producción de biomasa (B) y el rendimiento (Y) el contenido inicial de humedad del suelo debe estar bien estimado. (Condiciones iniciales al inicio del período de simulación) proporciona guías para un estimado adecuado del contenido inicial de humedad del suelo.

➤ **Verificar el balance hídrico del suelo:**

El contenido de humedad del suelo en la zona radicular (W_r) afecta el desarrollo del dosel y la transpiración del cultivo. Al tomar en cuenta los flujos de entrada y de salida se simula la variación de la W_r durante el período de crecimiento. Si la transpiración y/o la cobertura de dosel no están bien simuladas, verificar:

- **El tamaño del depósito de la zona radicular**, el cual lo determinan el perfil del suelo y las características del cultivo. El tipo de suelo y las variaciones de las características físicas con la profundidad del suelo están especificados en el archivo del suelo. El desarrollo y la profundidad máxima de la zona radicular están especificados en el archivo del cultivo;

- **La precipitación diaria.** Dado que la variabilidad temporal y especial de la precipitación es bien alta, los datos deben haberse recogido en el sitio o cerca de él, y preferiblemente a diario;
- **Aplicación de la lámina de riego y momento de las aplicaciones.** La lámina de riego se refiere a la cantidad de riego neto. No debe haberse agregado agua adicional aplicada al campo para compensar las pérdidas de transmisión o la distribución desigual del agua de riego al campo;
- **La escorrentía superficial,** que la determinan las características del perfil del suelo y el manejo de campo. La Curva Número (CN), y la conductividad hidráulica del extracto de suelo saturado están especificadas en el archivo de suelo. Ajustar, si es necesario, CN tomando en cuenta la pendiente, el uso de la tierra y la cobertura. Las prácticas en la superficie del campo que afectan la escorrentía están especificadas en el archivo del manejo;
- **El ascenso capilar** que depende de manera significativa de la profundidad de la capa freática, la cual puede variar a través del período de simulación y está especificada en el archivo de la capa freática. Si es necesario, calibrar ‘ascenso capilar’ en el menú ***Soil profile characteristics*** (Características del perfil del suelo).
- **Comparar el contenido de humedad del suelo observado con el simulado retenido en la zona radicular (W_r):**

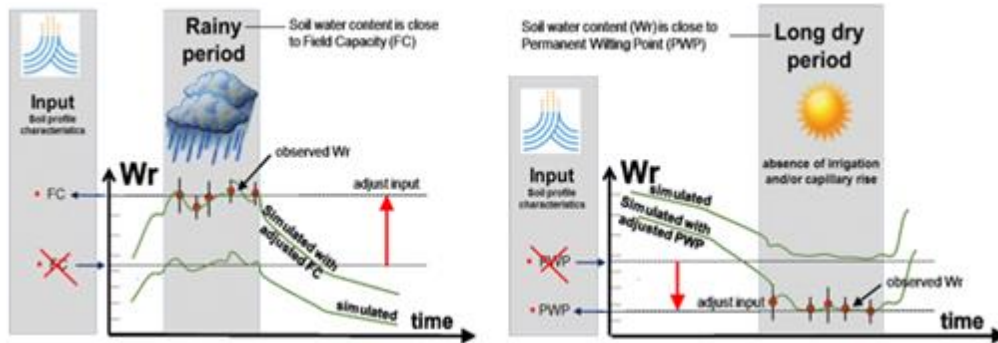
Al medir (o recoger muestras representativas del suelo) a varias profundidades, puede determinarse el contenido de humedad del suelo en la zona radicular. La calidad de la simulación puede evaluarse al comparar $W_{r\text{sim}}$ con el contenido de humedad del suelo medido en días particulares a lo largo del ciclo de crecimiento. Esto corresponde con una evaluación de la evapotranspiración del cultivo, dado que es el único flujo de agua que no podía verificarse directamente.

- **Comparación de la humedad del suelo retenida observada (puntos) con la simulada (líneas) en la zona radicular (W_r), y el resultado sobre W_r simulada después de ajustar la (a) Capacidad de Campo (FC) y (b) el Punto de Marchitez Permanente (PWP) en las características del perfil del suelo.**

Al ejecutar una simulación, los datos de campo observados (especificados en el menú **Field data** (Datos de campo)) y los resultados de la simulación se grafican juntos en el menú **Evaluation of simulation results** (Evaluación de los resultados de la simulación). A la par de una verificación visual, existen indicadores estadísticos (ver manual de referencia de AquaCrop) disponibles para evaluar la simulación. Si la W_r observada se encuentra por encima o por debajo de la W_r simulada, verificar los valores para Capacidad de Campo y Punto de Marchitez Permanente especificados en el archivo del suelo;

- Durante un período lluvioso, el contenido de humedad del suelo en la zona radicular se mantiene cerca de la Capacidad de Campo (FC). Si durante un período tal la W_r observada está por encima (o por debajo) del contenido de humedad simulado en la zona radicular, es muy probable que el(los) valor(es) especificado(s) para FC en el archivo del suelo estén errados.
- El contenido de humedad del suelo en la zona radicular caerá cerca del Punto de Marchitez Permanente (PWP) al final de un período seco extenso (y en ausencia de riego o ascenso capilar). Si durante dicho período seco la W_r observada está por encima (o por debajo) del contenido de humedad simulado en la zona radicular, es muy probable que el(los) valor(es) especificado(s) para PWP en el archivo del suelo estén errados (Figura 31).

Figura 31 .Comparación de Humedad del suelo.



Fuente: (FAO, 2017)

6.7.3. Producción de biomasa – Paso 3

La producción de biomasa, se obtiene al multiplicar la suma acumulativa de (Tr/ET_o), por la productividad del agua para biomasa normalizada (WP^*).

➤ Comparar biomasa aérea observada con la simulada:

Al ejecutar una simulación, los datos de campo observados y los resultados de la simulación se grafican juntos. Si las evaluaciones en los pasos anteriores indican una simulación correcta de CC y Tr, las diferencias detectadas entre la biomasa simulada y la biomasa observada en el campo podrían ser resultado de:

- **deficiente muestreo de la biomasa:** recoger datos de campo de la biomasa consiste en un muestreo destructivo en una serie de áreas pequeñas seleccionadas al azar en el campo, varias veces durante el ciclo de crecimiento. Las áreas de muestreo deben ser suficientemente grandes (al menos 1 m²) y representativas de las condiciones en el campo. Para obtener biomasa aérea seca, las muestras deben permanecer en un horno bien ventilado durante 48 horas a 65°C. Toda biomasa perdida en el campo por el viento o removida por animales debe estimarse.
- **ocurrencia de eventos no simulados por AquaCrop:** tales como plagas y enfermedades, y daño por tormentas de granizo.

6.7.4. Rendimiento del cultivo (Y) – Paso 4

El rendimiento del cultivo (Y) se obtiene al multiplicar la biomasa aérea total, producida en el momento de la maduración del cultivo, por un Índice de cosecha. Si durante el ciclo de crecimiento se desarrollan estreses, el HI ha sido ajustado para los estreses al momento de la ejecución (multiplicador $\neq 1$), lo que hace que el HI difiera del índice de cosecha de referencia. Los parámetros conservativos del cultivo y la simulación correcta del balance hídrico del suelo deben garantizar un ajuste correcto para el HI.

➤ Verificar el índice de cosecha de referencia (Hlo):

Si después de todas las verificaciones anteriores el rendimiento final observado todavía sigue siendo distinto al rendimiento simulado, la falta de precisión podría deberse al valor seleccionado para el índice de cosecha de referencia (Hlo). Esto podría ser el caso cuando el cultivo simulado es una clase de variedad distinta al cultivo especificado en el archivo del cultivo. Debido a la mejora genética vegetal y la biotecnología, es probable que el Hlo aumente en el futuro. Por otro lado, es probable que las variedades locales análisis e interpretación de resultados.

7. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

7.1. Resultados de Propiedades Hidrofísicas del Suelo

En las siguientes tablas se muestran los resultados de las propiedades hidrofísicas del suelo del lote 3 y 4 de la finca “Entre Ríos”, que se realizaron por medio de diferentes métodos en laboratorio de Edafología de la carrera de Ingeniería Agrícola.

Tabla 6. Resultados de Propiedades hidrofísicas lote 3.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA								
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION								
LABORATORIO DE EDAFOLOGIA								
FORMATO DE ANALISIS DE RESULTADOS "FINCA ENTRE RIOS"								
LOTE 3								
Item	Muestras	% Humedad	CC	PMP	Da	Dr	TEXTURA METODO DE "BOUYOUCO"	pH
1	M1	9.81	15.04	8.13			FRANCO ARCILLOSO	6.68
2	M2	11.93					ARCILLO LIMOSO	6.5
3	M3	12.14	46.02	24.87			ARCILLA	6.65
4	M4	11.66	47.72	25.79	1.11	2.05	FRANCO ARCILLOSO	6.73
5	M5	13.69	24.20	13.08			FRANCO ARCILLOSO	6.94
6	M6	13.03					FRANCO ARCILLO LIMOSO	6.74
7	M7	6.29	28.83	15.58			FRANCO ARCILLO LIMOSO	6.38
8	M8	11.13	45.45	24.57			FRANCO ARCILLOSO	6.52
9	M9	25.17	46.83	25.32	1.06	2.05	FRANCO ARCILLOSO	6.57
10	M10	20.59					FRANCO ARCILLOSO	6.49
11	M11	10.66	45.16	24.41			FRANCO ARCILLO LIMOSO	6.72
12	M12	9.28	48.68	26.32	1.03	2.12	FRANCO ARCILLOSO	6.71
13	M13	7.87	47.44	25.64	1.03	2.15	ARCILLO ARENOSO	6.61
14	M14	9.59						6.66
15	M15	13.03	21.46	11.60				6.36
16	M16	12.91						6.35
17	M17	12.79	41.43	22.39	0.87	2.07	FRANCO ARCILLOSO	6.83
18	M18	10.99	70.00	37.84			ARCILLO LIMOSO	6.52
19	M19	14.67					ARCILLO LIMOSO	6.58
20	M20	13.13	37.26	20.14			FRANCO ARCILLO LIMOSO	6.89
21	M21	13.20	48.37	26.15	1.14	2.04	FRANCO ARCILLO LIMOSO	6.68
22	M22	12.90					ARCILLO LIMOSO	6.76
23	M23	12.24	82.72	44.71			FRANCO ARCILLO LIMOSO	6.59
24	M24	14.71						6.25
25	M25	13.15					FRANCO ARCILLOSO	6.64
26	M26	10.67					ARCILLO LIMOSO	7.04
27	M27	12.34	48.64	26.29			ARCILLO LIMOSO	6.87
28	M28	12.21						6.54
29	M29	11.65	45.92	24.82			ARCILLO LIMOSO	6.64
30	M30	9.59					ARCILLA	6.48
31	M31	14.06	48.64	26.29			ARCILLO LIMOSO	6.68
32	M32	12.69					ARCILLO LIMOSO	6.69

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. Resultados de Propiedades Hidrofísicas lote 4.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION LABORATORIO DE EDAFOLOGIA FORMATO DE ANALISIS DE RESULTADOS "FINCA ENTRE RIOS" LOTE 4								
Item	Muestras	% Humedad	CC	PMP	Da	Dr	TEXTURA METODO DE "BOUYOUCO"	pH
1	33	10.46					FRANCO ARCILLO LIMOSO	6.42
2	34	12.15	49.55	26.79	1.09	1.98	FRANCO ARCILLOSO	6.53
3	35	10.25					FRANCO ARCILLOSO	6.54
4	36	7.44	39.61	21.41			ARCILLA	6.37
5	37	8.61	44.24	23.91	1.13	2.17	FRANCO ARCILLOSO	6.24
6	38	7.47					FRANCO ARCILLOSO	6.47
7	39	9.25	53.75	29.06			FRANCO ARCILLOSO	6.33
8	40	7.34	49.08	26.53			FRANCO ARCILLOSO	6.15
9	41	7.60					FRANCO ARCILLO LIMOSO	6.11
10	42	6.69	33.43	18.07			ARCILLO LIMOSO	5.95
11	43	7.85	47.50	25.68			ARCILLO LIMOSO	6.42
12	44	7.65	22.03	11.91			ARCILLA	6.42
13	45	10.12					ARCILLO LIMOSO	6.39
14	46	8.04	24.15	13.05			ARCILLO LIMOSO	6.33
15	47	6.01	43.21	23.36			ARCILLO LIMOSO	5.52
16	48	12.19	38.43	20.77	0.76	2.22	ARCILLO LIMOSO	6.92
17	49	7.97					FRANCO ARCILLO LIMOSO	6.34
18	50	12.16					ARCILLO LIMOSO	6.6
19	51	8.77	45.19	24.43			ARCILLA	6.25
20	52	11.50	53.49	28.91	1.06	2.02	FRANCO ARCILLO LIMOSO	6.51
21	53	9.28			1.06	2.06	ARCILLO LIMOSO	6.7
22	54	7.46	48.48	26.21				6.32
23	55	6.37	48.61	26.27				6.22
24	56	8.44	38.76	20.95	0.92	2.10		6.45
25	57	7.83	21.49	11.62			ARCILLA	6.78
26	58	6.99			0.92	1.66		6.54
27	59	10.76					ARCILLO LIMOSO	6.47
28	60	8.65	19.49	10.53	1.06	1.98	ARCILLO LIMOSO	6.55
29	61	12.25					ARCILLO LIMOSO	6.49
30	62	11.57	44.74	24.18			ARCILLO LIMOSO	6.59

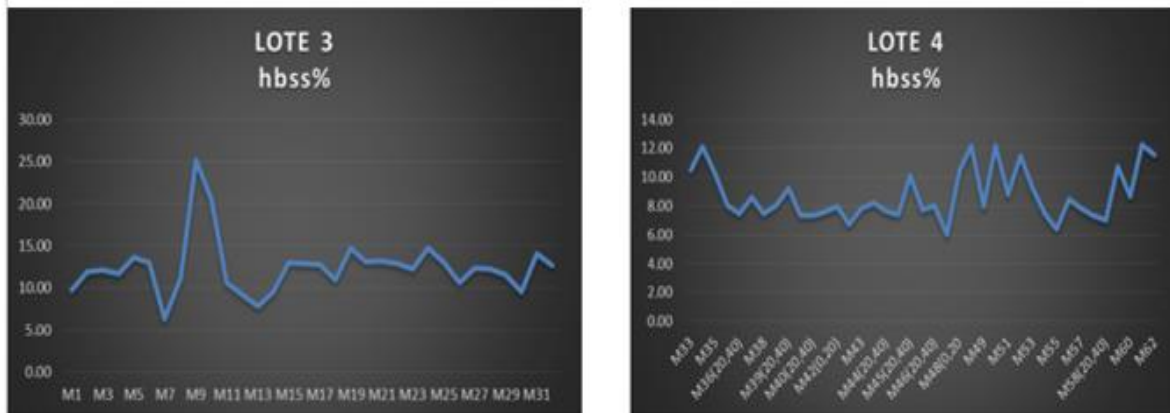
Fuente: Elaboración propia.

Como podemos observar en (Tabla 6 y 7) en la recolección de muestras alteradas se obtuvieron 32 para el lote 3 y 30 para el lote 4 todas ellas a dos profundidades que son 0 - 20 y 20 - 40 cm. Como también se recolectaron muestras inalteradas para la determinación de humedad en el suelo.

7.1.1. Porcentaje de Humedad

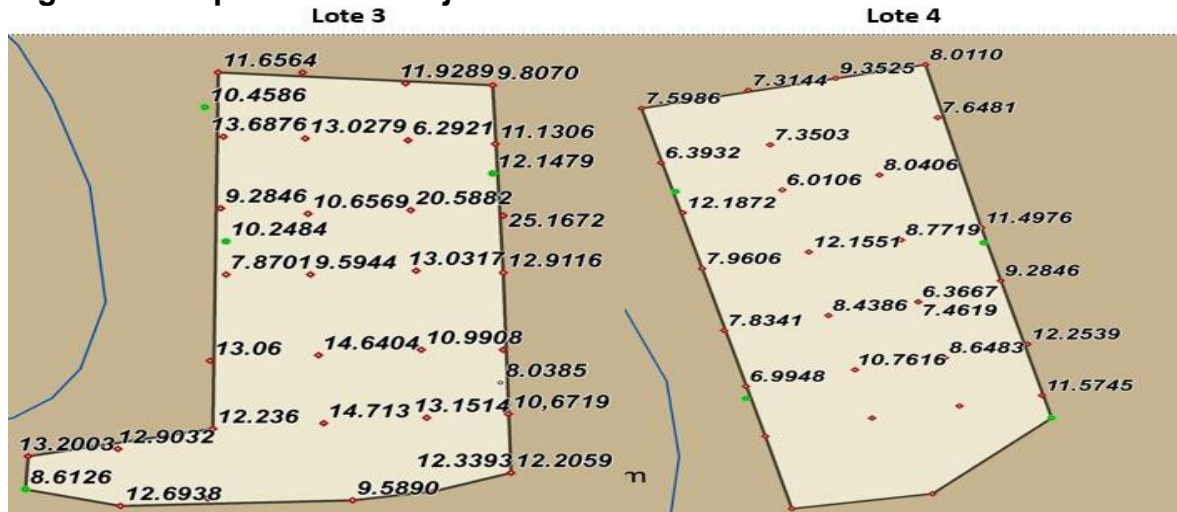
Como se puede observar los resultados de la Tabla 7, el lote 3 tiene un promedio de %Humedad en el suelo de 12.49%, lo cual es un factor positivo para el cultivo. El lote 4 tiene un promedio de %humedad de 10.67% como se observa en la tabla 8; según (Méndez & López, 2011) Clasifican el %Humedad como un factor determinante en la formación, fertilidad y productividad del suelo, así como para la germinación, crecimiento y desarrollo del cultivo, el conocimiento de la humedad y dinamismo del agua en el suelo es la base de la caracterización hidrofísicas del suelo (Figura 32 y 33).

Figura 32. Porcentaje de Humedad.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 33. Mapa de Porcentaje de Humedad.

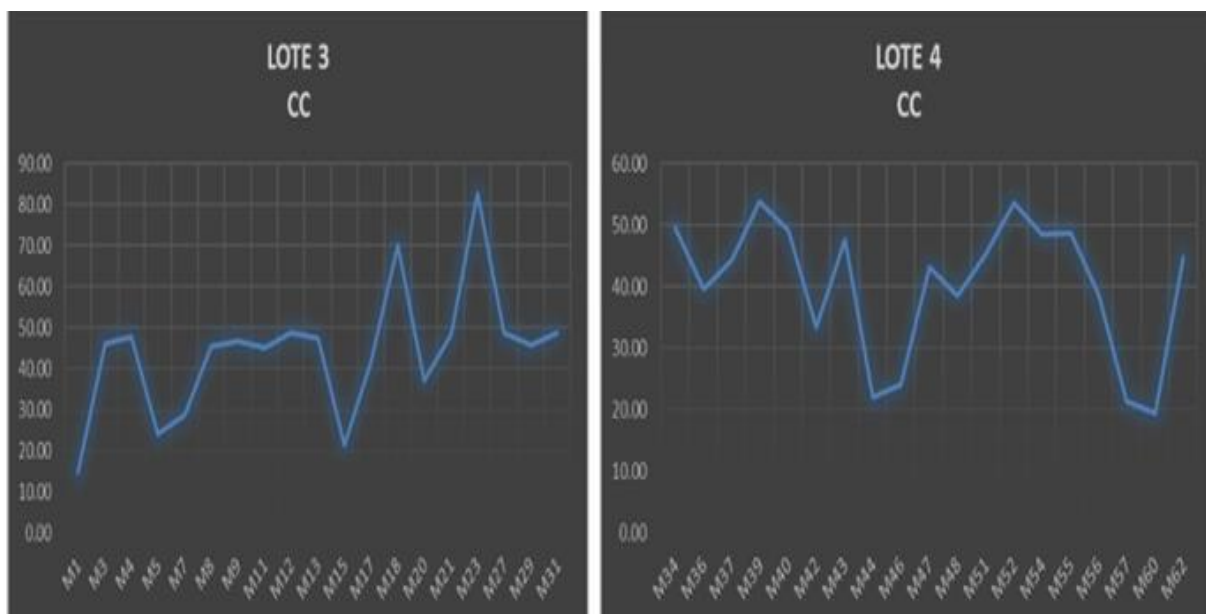


Fuente: Elaboración propia.

7.1.2. Capacidad de Campo (Cc)

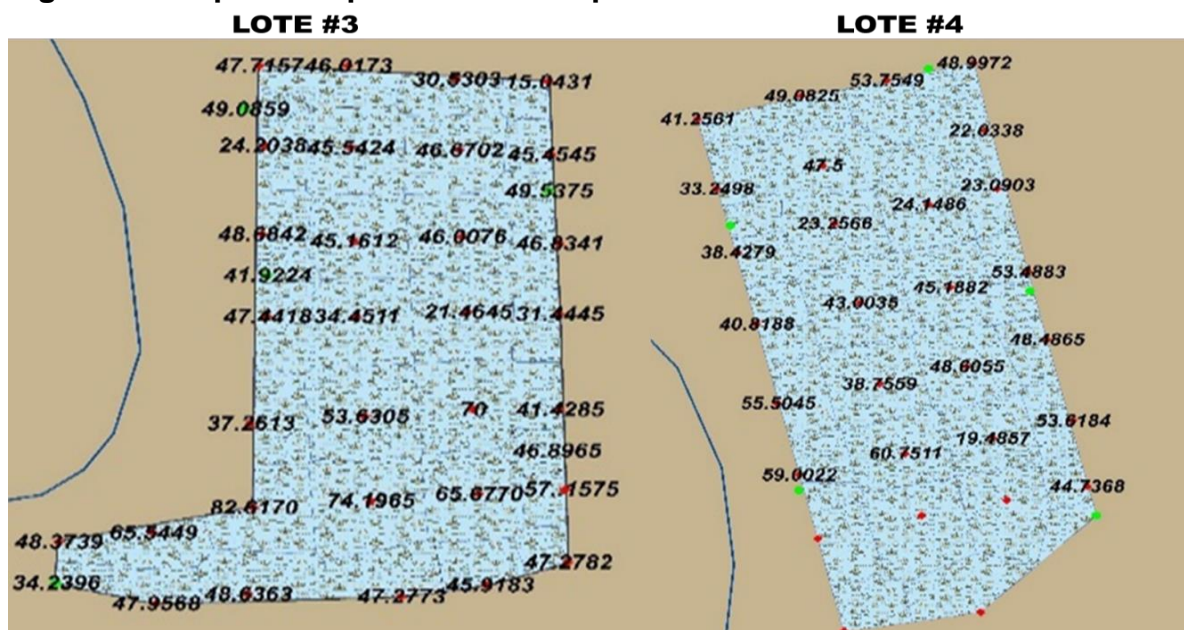
En la tabla #7 se muestran, los porcentajes de capacidad de campo del lote 3 se encuentran en un rango de 21.46% a 49.63 %, teniendo como promedio 47.93% (Tabla 7). Según (DARIO, 1979) clasifica el porcentaje de capacidad de campo en: muy bajo de 9% a 12%, bajo de 14% a 18%, medio de 22% a 26%, alto de 27% a 31% y como muy alto de 35% a 100%.por lo tanto el lote 3 posee los rangos: muy alto y medio esto refleja que la capacidad de retención de agua en el suelo es muy bueno (Figura 34 y 35) El lote 4 posee una capacidad de campo en los porcentajes 22.03% a 62.50% teniendo como promedio 44.33%, lo cual se clasifica según (DARIO, 1979) en: muy alta y medio. Lo anterior permite que el suelo posea una buena capacidad de almacenamiento y retención del agua, estando está a disponibilidad del cultivo. El cultivo de Marango según (Padilla, Valenciaga, Crespo, & González, 2018) requiere un suelo que retenga un alto contenido de humedad para su óptimo desarrollo (Tabla 8).

Figura 34. Capacidad de Campo.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 35. Mapa de Capacidad de Campo.



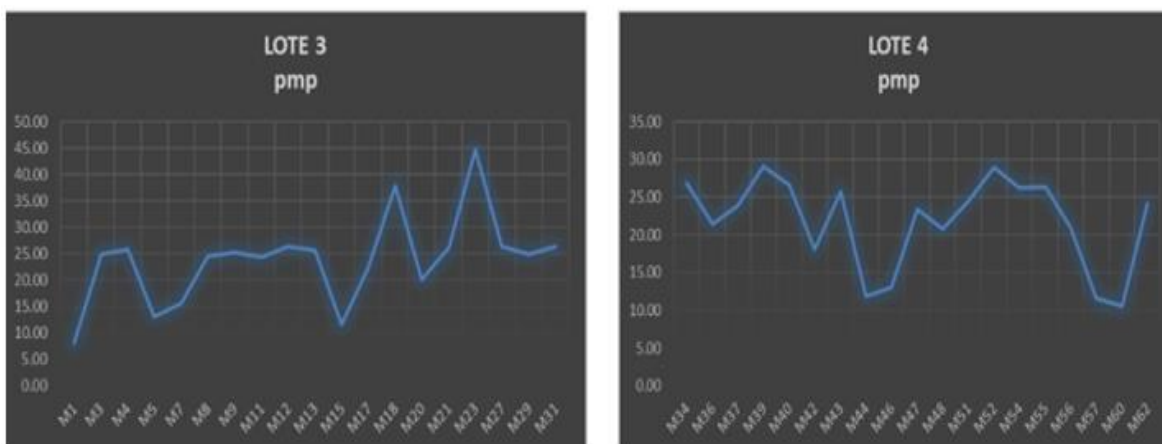
Fuente: Elaboración propia.

7.1.3. Punto de Marchitez Permanente (PMP)

En la tabla 7 se muestran los porcentajes de PMP del lote 3 se encuentran en un rango de 11.60% a 37.83%, teniendo como promedio 26.30%, lo anterior según (DARIO, 1979) lo clasifica en los rangos medio y muy alto (Tabla 7).

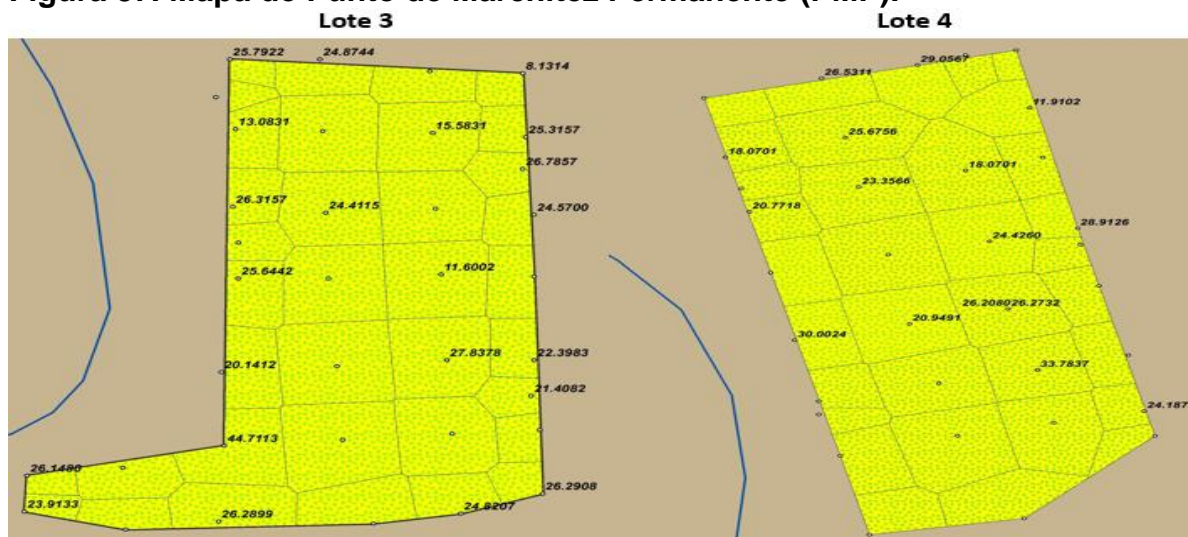
El lote 4 posee PMP de 11.91% a 30.00% teniendo como promedio 28.31% esto indica que el lote 4 tiene los rangos: alta y muy alta 8 (Figura 36 y 37). Lo anterior permite que el suelo posea una buena capacidad de almacenamiento y retención del agua, estando está a disponibilidad del cultivo. El cultivo de Marango según (Padilla, Valenciaga, Crespo, & González, 2018) requiere un suelo que retenga un alto contenido de humedad para su óptimo desarrollo (Tabla 8).

Figura 36. Punto de Marchitez Permanente (PMP).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 37. Mapa de Punto de Marchitez Permanente (PMP).



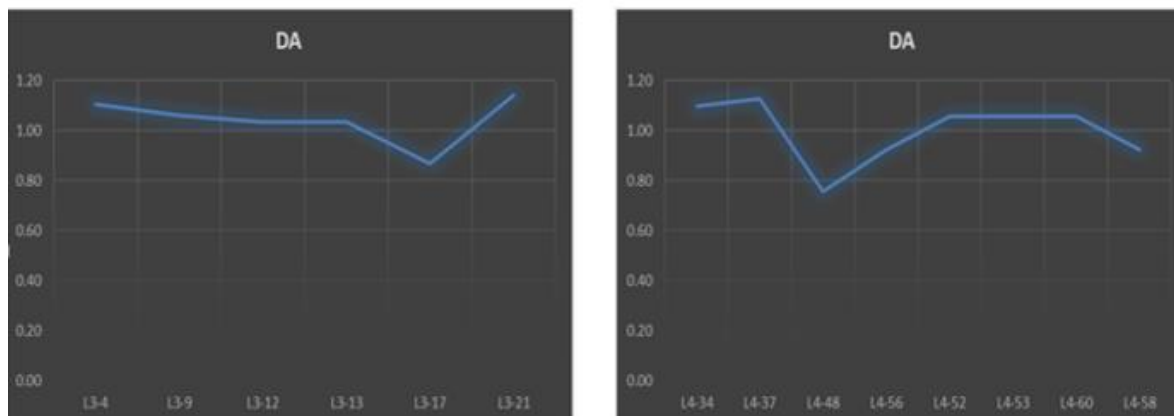
Fuente: Elaboración propia.

7.1.4. Densidad Aparente (Da)

Como se puede observar en la tabla 7, el lote 3 oscilan entre los siguientes valores de densidad aparente en el suelo 0.87% a 1.14% (Tabla 7). Los valores del lote 4 oscilan entre los siguientes valores de densidad real en el suelo 0.75% a 1.13%, según (Méndez & López, 2011) Clasifican los valores de Da en muy bajo todos los valores menores a 1%, bajo de 1% a 1.02, medio de 1.02% a 1.45%, alta de 1.45% a 1.60% y muy alta arriba de 1.60%. Lo anterior expuesto indica que el lote 4 posee los valores entre muy bajo, bajo y medio (Figura 38 y 39). Lo cual indica el

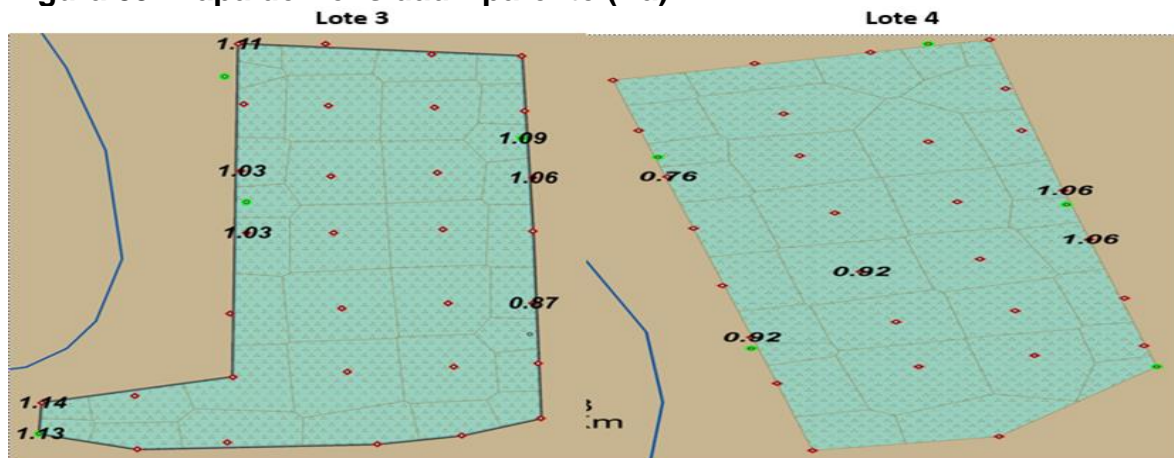
estado físico en el que encuentra el suelo está un poco por debajo de los valores óptimos para el cultivo (Tabla 8).

Figura 38. Densidad Aparente (Da).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 39. Mapa de Densidad Aparente (Da).



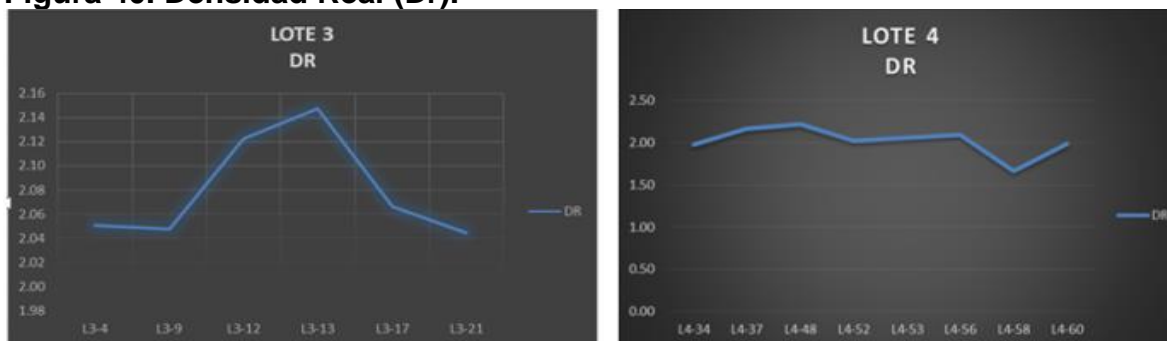
Fuente: Elaboración propia.

7.1.5. Densidad Real (Dr)

Como se muestra en la tabla 7, el lote 3 oscilan entre los siguientes valores de densidad real en el suelo 2.04% a 2.15%, según, (Méndez & López, 2011) los valores de densidad real que contiene materia orgánica oscilan en los valores de 2.35% a 2.96. Lo anterior indica que la densidad real del lote 3 está un poco por debajo de los valores óptimos para el cultivo (Tabla 7). El lote 4 oscilan entre los siguientes valores de densidad real en el suelo 1.98% a 2.22%, según (Méndez & López, 2011) los valores de densidad real que contiene materia orgánica oscilan

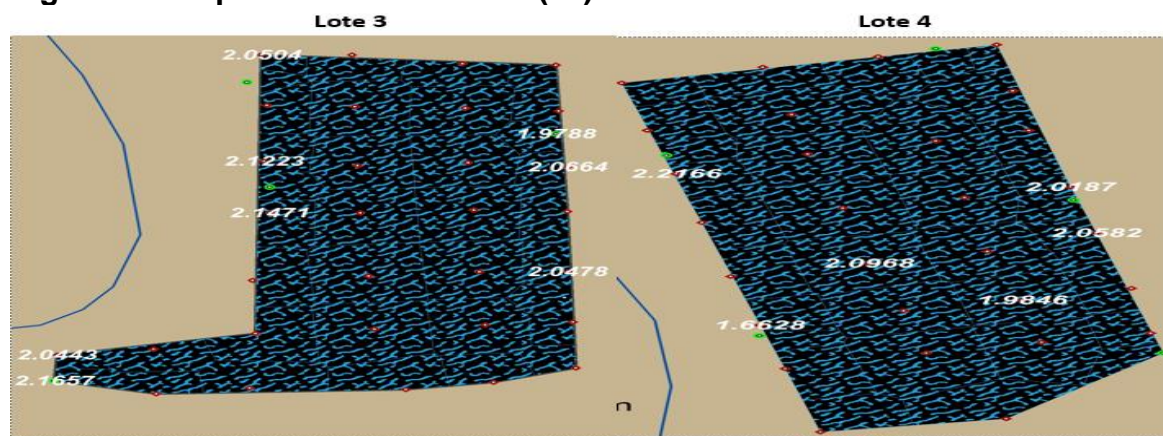
en los valores de 2.35% a 2.96% (Figura 40 y 41). Lo anterior indica que la densidad real del lote 4 está un poco por debajo de los valores óptimos para el cultivo (Tabla 8).

Figura 40. Densidad Real (Dr).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 41. Mapa de Densidad Real (Dr).

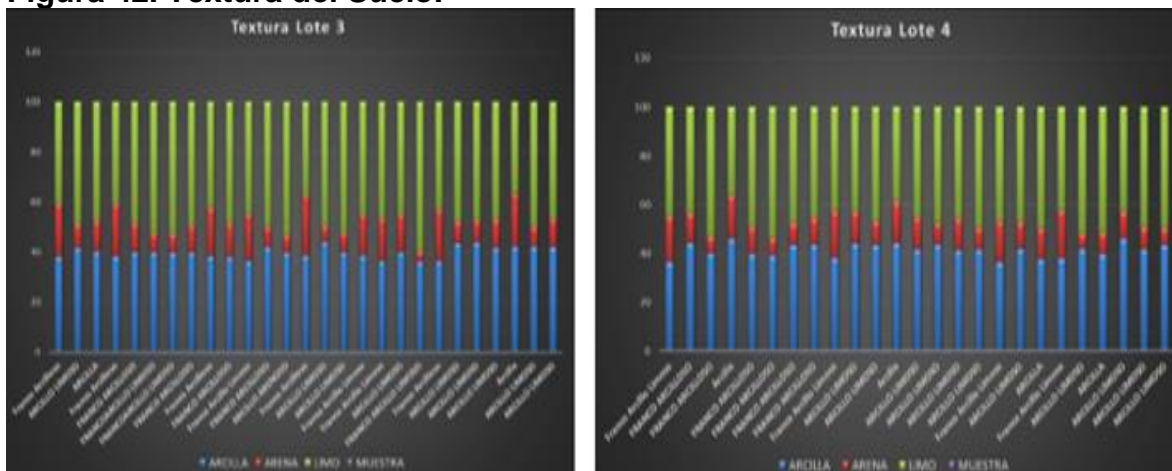


Fuente: Elaboración Propia.

7.1.6. Textura del Suelo por el método de Bouyoucos

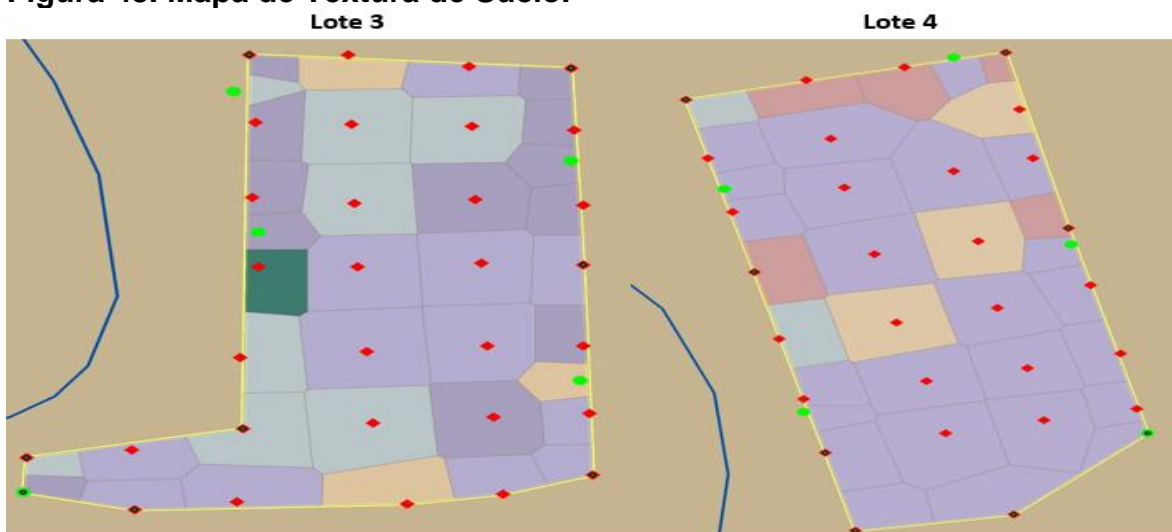
Como se puede observar en la tabla 3, el lote 3 posee los siguientes tipos de suelo: Arcilla, Arcillo Limoso, Arcillo Arenoso, Franco Arcilloso, Franco Arcilloso Limoso (Tabla 7). El lote 4 posee los siguientes tipos de suelo: Arcilla, Arcillo Limoso, Franco Arcilloso, Franco Arcilloso Limoso. Según (Padilla, Valenciaga, Crespo, & González, 2018) el cultivo de Marango requiere suelos que tengan presente un alto contenido de arcilla (Figura 42 y 43), para su óptimo desarrollo (Tabla 8).

Figura 42. Textura del Suelo.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 43. Mapa de Textura de Suelo.

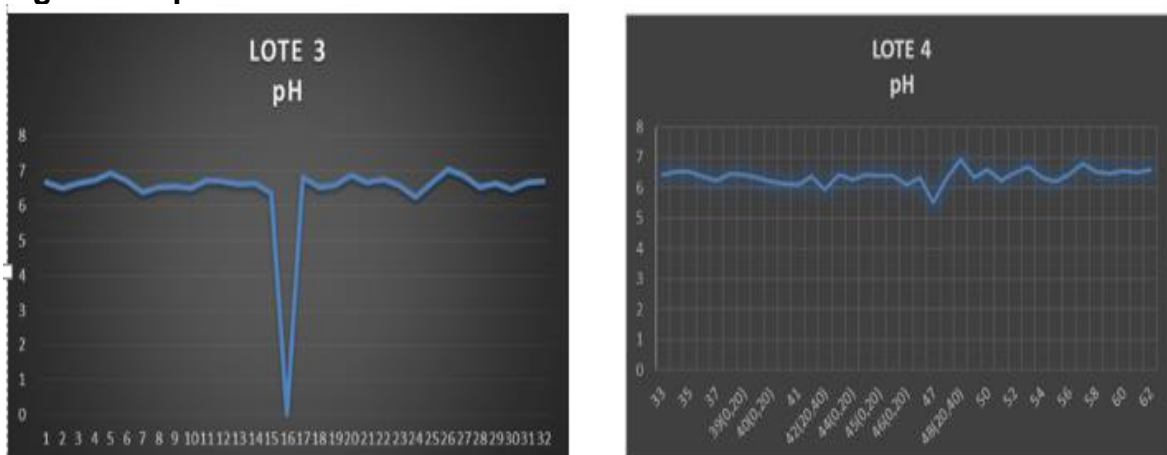


Fuente: Elaboración propia.

7.1.7. Porcentaje de pH

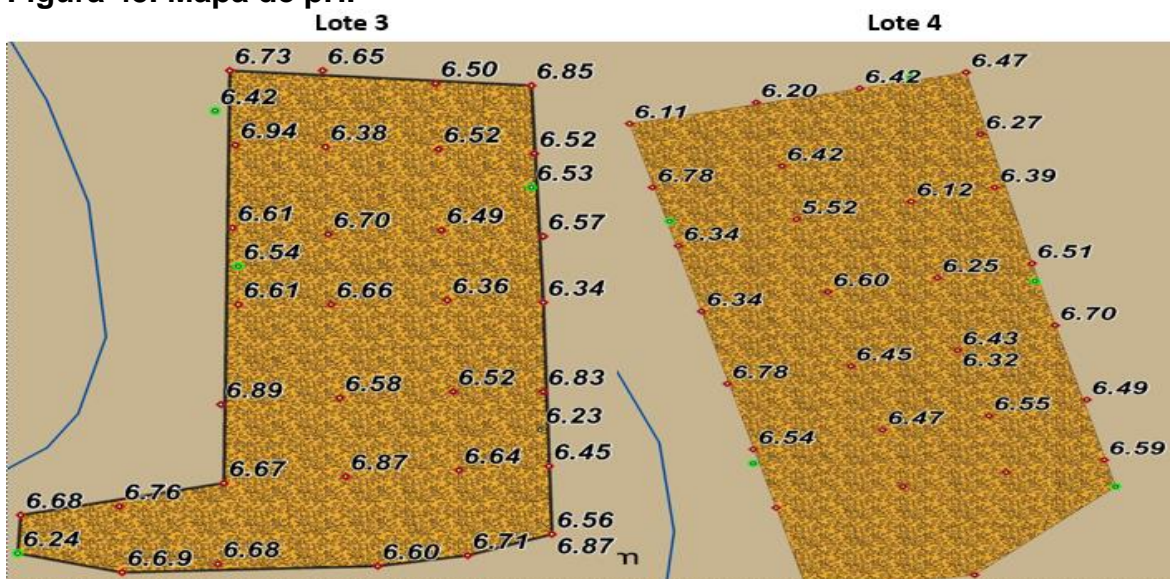
Como se puede observar en la tabla 7, el lote 3 posee los siguientes tipos de pH: Acido y Neutro. (Tabla 7), el lote 4 posee el siguiente pH de suelo: acido por lo que según (Padilla, Valenciaga, Crespo, & González, 2018) el cultivo de Marango requiere suelos que tengan un pH en el rango de 5% a %8 (Figura 44 y 45), lo anterior indica que el porcentaje de pH que poseen los suelos de la finca “Entre Ríos” es el que requiere el cultivo para estar en óptimo desarrollo (Tabla 8).

Figura 44. pH.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 45. Mapa de pH.



Fuente: Elaboración propia.

7.2. Descripción de los perfiles de suelos de los Lotes 3 y 4

En las siguientes tablas se presenta la descripción del perfil de horizontes de lotes 3 y 4 realizadas por medio del método de muestreo de la calicata.

7.2.1. Calicata lote 3

Tabla 8. Descripción del perfil lote 3.

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción de las características
A	0 – 21cm	Café oscuro, textura arcillo limoso, estructura granular, abundantes raíces finas, de consistencia blanda, pH neutro.
B	21-49cm	Textura arcillo limoso, estructura granular, frecuentes macro poros, abundantes raíces finas, límite no brusco y plano, sin presencia de grava, pH muy ligeramente ácido.

Fuente: Elaboración propia.

7.2.2. Calicata lote 4

Tabla 9. Descripción del perfil lote 4.

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción de las características
A	0 – 15cm	Café oscuro, textura arcillo limoso, estructura granular, abundantes raíces finas, de consistencia blanda, ligeramente ácido.
B	15-31cm	Textura arcillo limoso, estructura granular, frecuentes macro poros, abundantes raíces finas, límite no brusco y plano, sin presencia de grava, pH muy ligeramente ácido.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 46. Descripción del perfil de suelo de la finca “Entre Río” por el método de la calicata.



Fuente: Elaboración propia.

En la imagen anterior se muestra la descripción de los perfiles de suelo que posee la finca “Entre Ríos”, se encontraron 5 horizontes:

- O1: 21 cm.
- O2: 28 cm.
- O3: 23 cm.
- O4: 28 cm.
- O5: 21 cm.

7.3. Determinación del porcentaje de agua aprovechable en el suelo

En las siguientes tablas se presentan los resultados obtenidos de agua aprovechable en calicatas de lotes 3 y 4.

7.3.1. Análisis de resultados lote 3 y 4

Tabla 10. Agua Aprovechable lote 3.

Lote 3											
prof. Horiz (cm)	prof. Horiz (mm)	Horiz	Vol. de la muestra CM3	PSH + (g)	Pt (g)	PSH (g)	PSS (g)	%H	DAP g/cm3	mm/10cm	mm/horiz
2.1	21	A	280.44	507.45	149.35	358.10	294.8	21.47	1.05	22.6	47.40
2.8	28	B	280.44	534.40	145.30	389.10	311.8	24.79	1.11	27.6	77.18
2.3	23	C	280.44	538.10	147.25	390.85	304.15	28.51	1.08	30.9	86.56
2.8	28	D	280.44	472.90	146.00	326.90	257.55	26.93	0.92	24.7	69.24
2.1	21	E	280.44	486.00	147.30	338.70	269.55	25.65	0.96	24.7	51.78

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Tabla 10, se presentan los resultados del agua aprovechable por horizonte de suelo. En el Lote 3, los valores de lámina de agua en mm/horizonte se encuentran en un valor promedio de 66.43 mm. En el caso del cultivo de Marango el mayor porcentaje del Sistema radicular se encuentra en los primeros 50 cm, por lo que las raíces pueden tomar el agua de los primeros dos horizontes (A y B), siendo la cantidad de agua aprovechable por el cultivo la retenida en los dos horizontes igual a 124.58 mm.

Tabla 11. Agua Aprovechable lote 4.

Lote 4											
prof. Horiz (cm)	prof. Horiz (mm)	Horiz	Vol. de la muestra CM3	PSH + (g)	Pt (g)	PSH (g)	PSS (g)	%H	DAP g/cm3	mm/10cm	mm/horiz
1.5	15	A	280.44	467.65	146.80	320.85	260.75	23.05	0.93	21.43	32.15
1.6	16	B	280.44	486.65	146.30	340.35	270.65	25.75	0.97	24.85	39.77
2.3	23	C	280.44	539.55	146.00	393.55	324.2	21.39	1.16	24.73	56.88
2.4	24	D	280.44	495.30	145.80	349.50	258.8	35.05	0.92	32.34	77.62
2.6	26	E	280.44	427.85	147.55	280.30	203.95	37.44	0.73	27.23	70.79
2	20	F	280.44	449.05	147.20	301.85	225.15	34.07	0.80	27.35	54.70

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Tabla 11, se presentan los resultados del agua aprovechable por horizonte de suelo. En el Lote 4, los valores de lámina de agua en mm/horizonte se encuentran en un valor promedio de 55.32 mm. En el caso del cultivo de Marango el mayor porcentaje del Sistema radicular se encuentra en los primeros 50 cm, por lo que las raíces pueden tomar el agua de los primeros dos horizontes (A y B), siendo la cantidad de agua aprovechable por el cultivo la retenida en los dos horizontes igual a 71.91 mm.

7.4. RESULTADOS DE PROPIEDADES HIDROFÍSICAS DE CALICATAS, LOTES 3 Y 4

Tabla 12. Resultados de Propiedades Hidrofísicas de Calicatas.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION LABORATORIO DE EDAFOLOGIA								
FORMATO DE ANALISIS DE RESULTADOS EN CALICATAS "FINCA ENTRE RIOS"								
Lote 3								
Ítem	Muestras	% Humedad	CC	PMP	Da	Dr	TEXTURA METODO DE "BOUYOUCO"	pH
1	O1L3	9.64	29.20	15.78	1.05	3.14	Arcillo Limoso	6.82
2	O2L3	11.42	34.42	18.60	1.11	2.54	Arcillo Limoso	6.60
3	O3L3	9.98	30.92	16.71	1.08	2.57	Arcillo Limoso	6.80
4	O4L3	11.49	35.07	18.96	0.92	2.52	Arcillo Limoso	6.89
5	O5L3	11.58	29.96	16.19	0.96	2.44	Arcillo Limoso	6.78
Lote 4								
6	O1L4	11.27	33.18	17.94	0.93	2.49	Arcillo Limoso	6.40
7	O2L4	15.55	44.64	24.13	0.97	2.31	Arcillo Limoso	6.37
8	O3L4	14.61	41.81	22.60	1.16	2.49	Arcillo Limoso	6.70
9	O4L4	15.77	41.11	22.22	0.92	2.37	Arcilla	6.75
10	O5L4	14.55	42.11	22.76	0.73	2.32	Arcillo Limoso	6.72
11	O6L4	15.04	39.77	21.50	0.80	2.47	Arcilla	6.70

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 12 se presentan los resultados de las propiedades hidrofísicas de suelo el tipo de muestreo utilizado fue el de la calicata, de igual manera los resultados de las propiedades son las adecuadas para tener resultados positivos en el cultivo

ya sea por el tipo de clima de la zona, tipo de cultivo, método de sistema de riego, etc.

Los resultados obtenidos son un factor de suma importancia para aumentar la eficiencia del cultivo, ya que según (DARIO, 1979) todos los valores presentes en los resultados están a disposición del cultivo para su óptimo desarrollo, teniendo siempre que el Marango (*Moringa-Oleífera*) puede cultivarse en zonas con características ya sea climatológicas, falta de agua, altas temperaturas, tiene la capacidad de desarrollarse con las mínimas pérdidas.

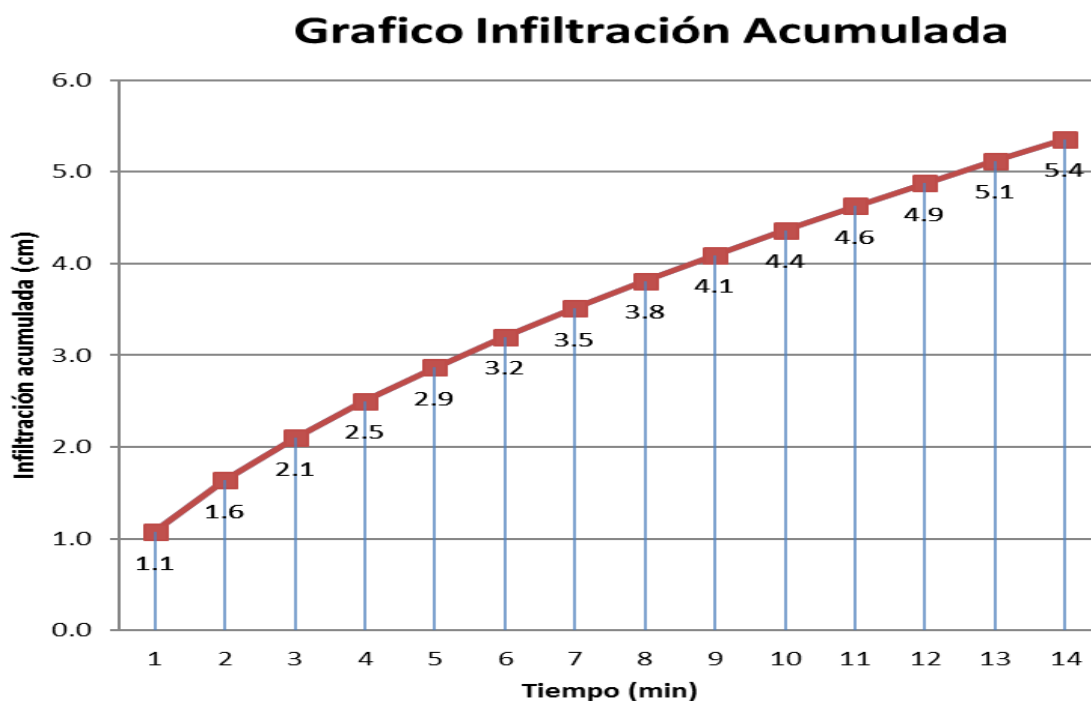
7.5.RESULTADOS DE PRUEBA DE VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN EN LOTES 3 Y 4

En las siguiente graficas se presentan los resultados obtenidos en las pruebas de infiltración de agua acumulada y velocidad de infiltración de agua en el suelo realizadas en campo de los lotes 3 y 4 de la finca.

7.5.1. Infiltración Acumulada

En el siguiente gráfico se presentan los valores y el comportamiento de infiltración de agua acumulada en el suelo de los lotes 3 y 4 de la finca “Entre Ríos”.

Gráfico 1. Agua Acumulada.



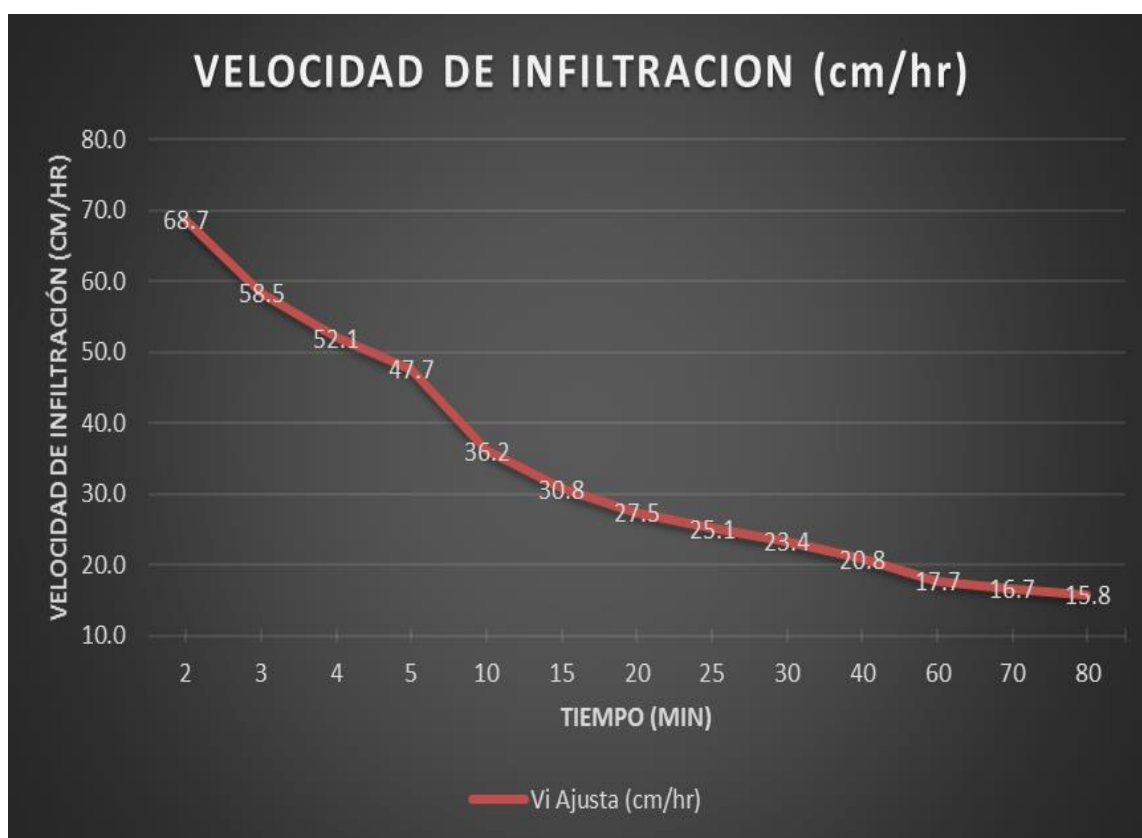
Fuente: Elaboración propia.

En la prueba de infiltración acumulada efectuada en campo se determinó que la infiltración acumulada es de 5.4 cm/hr, a como se muestra en el gráfico 1.

7.5.2. Velocidad de Infiltración

En el siguiente gráfico se presentan los valores y el comportamiento de la velocidad infiltración de agua en el suelo de los lotes 3 y 4 de la finca (Ver Gráfico 2).

Gráfico 2. Velocidad de Infiltración.



Fuente: Elaboración propia.

La velocidad de infiltración llega al punto más bajo a los 80 minutos como se puede observar en el gráfico 2 de velocidad de infiltración y después de este intervalo de tiempo no varía, es decir, cuando la curva se hace asintótica (es decir casi paralela al eje de las abscisas) y el valor de infiltración permanece casi constante, este valor se define como infiltración básica

7.6.DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE CAUDALES Y PRESIONES DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO

A continuación, se presentan en la siguiente tabla los datos recopilados en campo (Tabla 13) y resultados de coeficiente de uniformidad de presión y caudal del sistema de riego por goteo con botón que tiene instalado los lotes 3 y 4 de la finca. La presión del lote 3 está en el valor de 93.33%, el lote 4 tiene el valor de 95.19. Siendo el promedio coeficiente de uniformidad de presión de 94.26% (Tabla 14). El valor del caudal promedio del lote 3 es de 86.57, el valor del lote 4 es de 88.79% lo cual indica que el valor promedio entre lotes es de 88.80% (Tabla 15).

Tabla 13. Datos de Presiones tomadas en campo.

Lote 3				
Válvula	Hora de inicio	Hora final	Poso 1 presión inicial	Poso 1 presión final
1	06:00	07:25	60.92	31.91
2	07:25	08:50	63.82	34.81
3	08:50	10:15	65.27	36.26
4	10:15	11:45	55.11	31.91
5	11:45	01:10	63.82	34.81
6	01:10	02:35	60.92	31.91
7	02:35	04:00	66.72	37.71
Lote 4				
1	04:00	05:25	58.02	34.81
2	08:00	09:25	55.11	31.91
3	09:25	10:50	49.31	31.91
4	10:50	12:15	49.31	31.91
5	12:15	01:40	52.21	34.81
6	01:40	03:05	52.21	34.81
7	03:05	04:30	49.31	31.91
8	04:30	05:55	60.92	34.81
9	05:55	06:20	63.82	34.81

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14. Promedio de uniformidad de Presión lotes 3 y 4.

LOTES	Pn (psi)	P25% (psi)	cup%	cup prom (%)
3	34.19	31.91	93.33	94.26
4	33.52	31.91	95.19	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15. Promedio de Uniformidad de Caudal de lotes 3 y 4.

LOTES	Qn (l/h)	Q25% (l/h)	Cuc%	Cuc prom (%)
3	6.76	5.85	88.80	88.80
4	6.64	5.90	88.80	

Fuente: Elaboración propia.

Lo anterior expuesto indica que el sistema de riego por goteo que posee la finca, está en valores excelentes en cuanto a la eficiencia del sistema de riego, según (Mendez, Guía de Practicas de eveluacion de sistema de Riego por Goteo, 2018) expresa que un sistema de riego que se encuentre en los valores superiores del 90% de coeficiente de uniformidad de presión, es eficiente. En el caso del coeficiente de uniformidad de caudales está en ellos valores de 88% lo cual según (Mendez, Guía de Practicas de eveluacion de sistema de Riego por Goteo, 2018) expresa que los valores que se encuentren arriba del 85%, es considerado eficiente.

7.7. ANALISIS DE RESULTADOS DEL SOFTWARE AQUACROP

En las siguientes tablas se presentan los resultados obtenidos por medio de simulaciones en el software AquaCrop. Se realizaron 2 simulaciones, la primera con los datos reales en el que se encuentra actualmente el cultivo de Marango en la finca “Entre Ríos” y la segunda simulación se realizó con los datos ideales en el que debería de estar el cultivo de Marango en producción de follaje (biomasa).

7.7.1. Resultados de simulación en condiciones reales de cultivo

Tabla 16. Resultados de datos reales del cultivo de Marango.

Ítem	Año	Lluvia (mm)	Eto (mm)	Irri (mm)	Infilt (mm)	BioMass kg/m ³	Rendi
1	2010	0	493	426	426	8.112	4.064
2	2011	0	549	475	475	8.14	4.078
3	2012	12	633	577	589	8.176	4.096
4	2013	1004	662	130	1134	8.217	4.116
5	2014	775	721	317	1092	8.253	4.135
6	2015	583	765	447	1030	8.286	4.151
7	2016	793	660	352	1145	8.341	4.178
8	2017	829	571	148	977	8.372	4.194
9	2018	691	681	349	1040	8.402	4.209
Promedio		520.8	637	358	878.7	8.2554	4.136

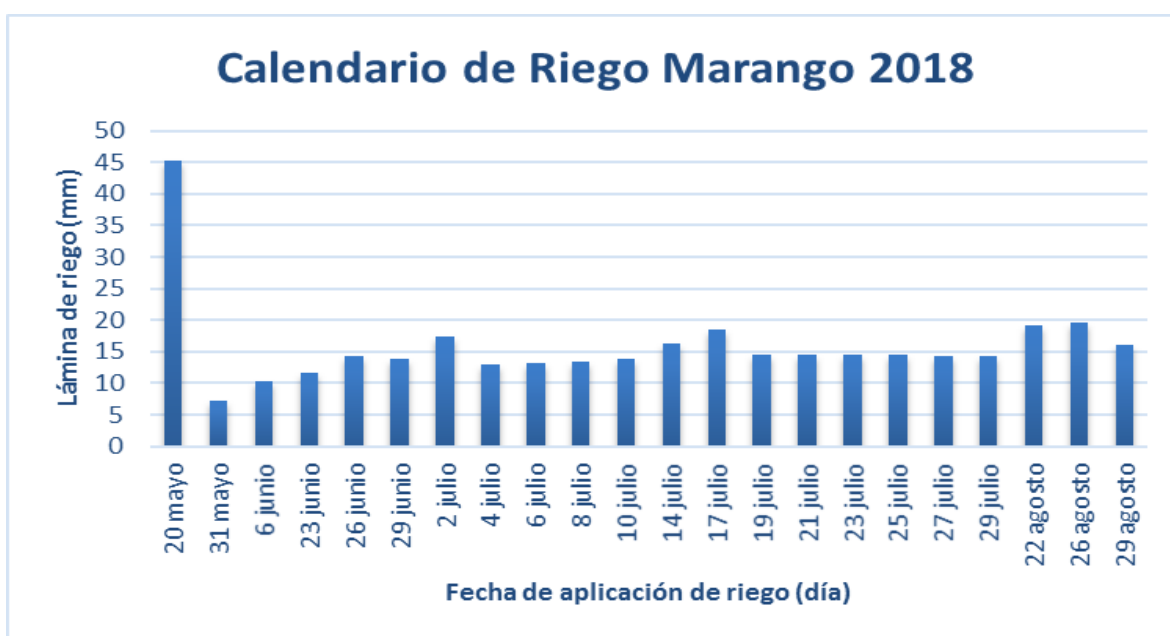
Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 16 se presentan los datos obtenidos en la simulación en el software AquaCrop en condiciones reales del cultivo de Marango en la Finca “Entre Ríos”, considerando para ello, datos climatológicos de zona, densidad poblacional del cultivo (11,000 plantas/Ha), frecuencia de corte (65 días), control de maleza en el cultivo (sin control de malezas); obteniendo como producto de la simulación en promedio biomasa en las condiciones reales del cultivo de 8.25 kg/m³ equivalentes a 29.54 Ton/Ha, lo cual se encuentra 28.3% por debajo de lo obtenido por (Dávila, 2014) quien reporto un promedio de producción en follaje de 41.18 Ton/Ha, siendo necesario tener una densidad poblacional entre 250mil, 500mil y 750mil p/Ha, una frecuencia de corte entre 40, 60 y 75 días, tener un adecuado control de maleza, la utilización de fertilizantes en el cultivo.

Cabe destacar que la finca es certificada orgánica, por esta razón en esta primera evaluación no se tomó en cuenta la aplicación de fertilizante en el cultivo y el control de maleza en ningún periodo de evaluación.

Para el año 2018, considerando como fecha de siembra el 20 de mayo y como fecha de cosecha 19 de septiembre, el cultivo requiere una lámina de riego promedio de 358 mm, misma que se debe aplicar en 22 riegos (Figura 47), con el cual se obtendría una producción de biomasa de 8.402 kg/m³ de agua aplicada (29.54 Ton/Ha).

Figura 47. Calendario de riego del cultivo de Marango para el año 2018 en la finca “Entre Ríos” en condiciones reales de cultivo.



Fuente: Elaboración propia.

7.7.2. RESULTADOS DE SIMULACIÓN EN CONDICIONES IDEALES DE CULTIVO

Tabla 17. Resultados de datos ideales del cultivo de Marango.

Ítem	Año	Lluvia (mm)	Eto (mm)	Irri (mm)	Infilt (mm)	BioMass kg/m ³	Rendi
1	2010	0	493	426	426	13.509	6.914
2	2011	0	549	475	475	13.557	6.938
3	2012	12	633	577	589	13.617	6.969
4	2013	1004	662	130	1134	13.686	7.007
5	2014	775	721	317	1092	13.745	7.034
6	2015	583	765	447	1030	13.801	7.065
7	2016	793	660	352	1145	13.891	7.109
8	2017	829	571	148	977	13.942	7.135
9	2018	691	681	349	1040	13.993	7.161
Promedio		520.8	637	358	879	13.749	7.037

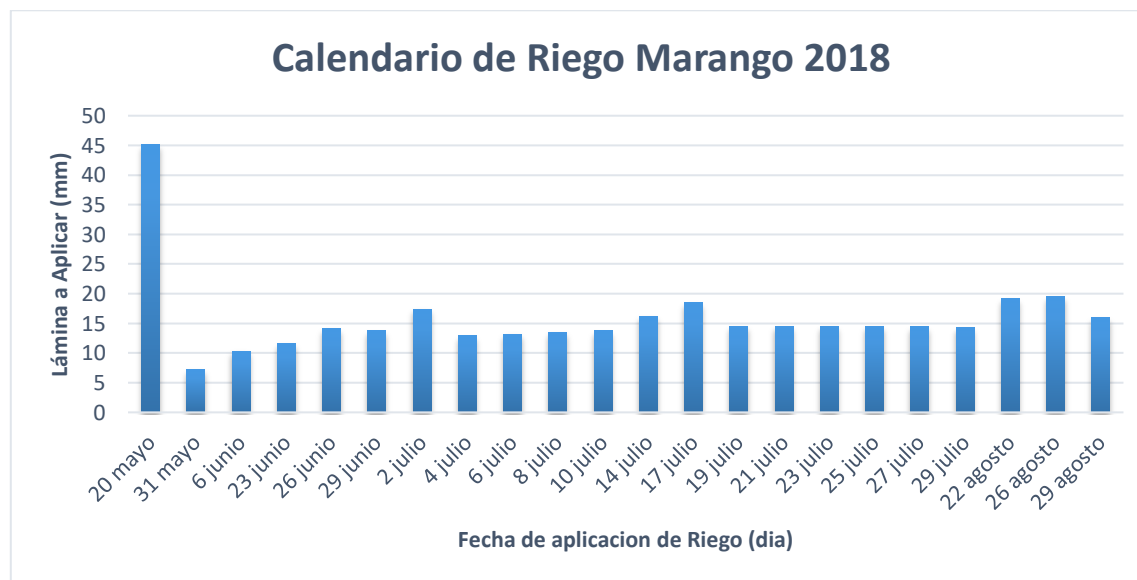
Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 17 se presentan los resultados de simulación en el software AquaCrop, en condiciones ideales para el cultivo de Marango en la Finca “Entre Ríos”, tomando en cuenta los siguientes parámetros en condiciones ideales para la producción de biomasa: densidad poblacional de 1,000,000 p/Ha, adecuado control de maleza y aplicación de fertilizante sin restricción. Se obtuvo como producto de la simulación en promedio biomasa en las condiciones ideales del cultivo de 13.75 kg/m³ equivalentes a 49.23 Ton/Ha, lo cual se encuentra 19.54% por arriba de lo obtenido por (Dávila, 2014) quien reporto un promedio de producción en follaje de 41.18 Ton/Ha, siendo necesario tener una densidad poblacional entre 250mil, 500mil y 750mil p/Ha, una frecuencia de corte entre 40, 60 y 75 días, tener un adecuado control de maleza, la utilización de fertilizantes en el cultivo.

Los datos obtenidos en la tabla 18, están evaluados en función de condiciones ideales para el cultivo, según (Dávila, 2014) con la aplicación de fertilizante en el cultivo, un adecuado control de maleza, la correcta densidad poblacional de p/Ha, una frecuencia de corte correcta, genera que el cultivo responda de manera positiva en función de producción de biomasa.

Para el año 2018, considerando como fecha de siembra el 20 de mayo y como fecha de cosecha 19 de septiembre, el cultivo requiere una lámina de riego promedio de 358 mm, misma que se debe aplicar en 22 riegos (Figura 48), con el cual se obtendría una producción de biomasa de 13.74% kg/m³ de agua aplicada (49.23 Ton/Ha).

Figura 48. Calendario de riego del cultivo de Marango para el año 2018 en la finca “Entre Ríos” en condiciones ideales de cultivo.



Fuente: Elaboración propia.


Los resultados obtenidos de simulación comparando las condiciones reales e ideales del cultivo, se puede deducir lo siguiente: producción de biomasa en las condiciones reales del cultivo de 8.25 kg/m³ equivalentes a 29.54 Ton/Ha y en condiciones ideales del cultivo de 13.75 kg/m³ equivalentes a 49.23 Ton/Ha, lo cual representa un 40% más de producción de biomasa, que en términos económicos la finca Entre Ríos estaría dejando de percibir utilidades en la producción de biomasa del cultivo de Marango. Para alcanzar las condiciones ideales de producción de Biomasa, según lo obtenido en las simulaciones con el software AquaCrop, se debe de seguir las siguientes recomendaciones: 1. cultivo con correcto control de maleza, 2. aplicación de fertilizantes, 3. adecuada densidad poblacional (1,000,000 p/Ha) de acuerdo con la producción de biomasa y 4. correcta frecuencia de corte (65 días).


8. CONCLUSIONES


- ✚ La capacidad de almacenamiento y movimiento del agua en el suelo de la finca “Entre Ríos”, considerando las propiedades hidrofísicas del lote 3, los valores de lámina de agua en mm/horizonte se encuentran en un valor promedio de 66.43 mm. En el caso del cultivo de Marango el mayor porcentaje del sistema radicular se encuentra en los primeros 50 cm, por lo que las raíces pueden tomar el agua de los primeros dos horizontes (A y B), siendo la cantidad de agua aprovechable por el cultivo la retenida en ambos horizontes igual a 124.58 mm. En el Lote 4, los valores de lámina de agua en mm/horizonte se encuentran en un valor promedio de 55.32 mm por lo que las raíces pueden tomar el agua de los primeros dos horizontes (A y B), siendo la cantidad de agua aprovechable por el cultivo la retenida en ambos horizontes igual a 71.91 mm.
- ✚ Al evaluar el Coeficiente de Uniformidad de Presiones en los lotes 3 y 4 de la Finca Entre Ríos, se obtuvo un valor de 93.33% en el lote 3 y un 95.19% en el lote 4, siendo el promedio de uniformidad de presión en el sistema de 94.26%, lo cual se clasifica como Excelente. En tanto, al evaluar el Coeficiente de Uniformidad de Caudales del sistema de riego por goteo del cultivo de Marango, en el lote 3 se obtuvo un 86.57% de uniformidad y en el lote 4 un 88.79%, siendo el promedio de uniformidad de caudales del sistema igual a 88.80%, lo cual se clasifica como muy bueno.
- ✚ Los resultados obtenidos de simulación comparando las condiciones reales e ideales del cultivo, se determinó que la lámina a aplicar en el cultivo es de 358 mm, misma que se distribuye en 22 eventos de riego. De igual manera, se obtuvo una producción de biomasa en condiciones reales del cultivo de 8.25 kg/m³ equivalentes a 29.54 Ton/Ha y en condiciones ideales del cultivo de 13.75 kg/m³ equivalentes a 49.23 Ton/Ha, lo cual representa un 40% más de producción de biomasa en comparación con las condiciones reales de cultivo en la finca Entre Ríos.


9. RECOMENDACIONES

Para alcanzar las condiciones ideales de producción de Biomasa, según lo obtenido en las simulaciones con el software AQUACROP, se debe de seguir las siguientes recomendaciones:

-  Realizar un adecuado control de malezas, para evitar que las mismas compitan por espacio, nutrientes y agua con el cultivo de Marango.

-  Aplicar la dosis adecuada de fertilizantes, para que el mismo no represente una limitante en la producción de biomasa. Dado que la finca es certificada como orgánica, seleccionar formulas fertilizantes que se ajusten a los requerimientos de certificación.

-  Se recomienda una densidad poblacional de 1,000,000 p/Ha, de acuerdo con fin de producción del cultivo de Marango que es la producción de biomasa.

-  Utilizar una frecuencia de corte de follaje de 65 días, dado que es la fecha optima donde la hoja presenta su más alta producción de nutrientes.

REFERENCIAS

- Avendaño, J. E. (2008). *Irrigacion*. Obtenido de Irrigacion: <http://irrigacion.weebly.com/>
- Baca, G. (1996). *Evaluacion de proyectos*. Mexico: McGraw-Hill Interamericana de Mexico, S.A. de C.V.
- Botanica, R. (04 de Abril de 2019). *Botanical-Online*. Obtenido de Botanical-Online: <https://www.botanical-online.com/plantas-medicinales/moringa-propiedades>
- Carreño, J. (2009). *Manual de siembra, cultivo y manejo del pasto Maralfalfa*. Obtenido de Maralfalfa2.com: <http://www.maralfalfa2.com>
- Célia S. dos Santos, A. A. (2017). Evapotranspiración y coeficientes de cultivo de Moringa oleifera. *Revista Brasileira de Ingeniería Agrícola y Ambiental*, 900.
- Cerrano., i. L. (enero de 2008).) <http://www.moringapura.com>. Obtenido de) <http://www.moringapura.com>:) <http://www.moringapura.com>
- Cerrato., I. L. (2008). *Pronagro*. Obtenido de Pronagro.: <file:///C:/Users/usuario/Downloads/Moringa.pdf>
- CHAVEZ, N. (s.f.).
- Chile, C. N. (14 de Agosto de 2016). *Portalfruticola*. Obtenido de <https://www.portalfruticola.com/noticias/2016/08/14/que-es-le-coeficiente-de-cultivo-kc-en-riego-valores-por-especie/>
- Chow, Juan Leonardo. (s.f.). *Método Fácil de Diseño de Riego por Goteo*. SEJICSA.
- Cisneros, R. (2003). *Apuntes de la materia RIEGO Y DRENAJE*. Mexico.
- D, R., & Giandrelly. (2018). *CONCYTEC*. Obtenido de ALICIA: https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCSM_39f671ef69f16d16cd47305aa1c188df
- DARIO, M. (1979). *PROYECTO DE REABILITACIÓN Y DIVERSIFICACIONES AGRÍCOLAS PROYECTODE CAPACITACIÓN EN EXTENSIÓN AGRÍCOLA*. Tegucigalpa, D.C.
- Dávila, L. M. (18 de Agosto de 2014). *Repositorio Institucional (UNA)*. Obtenido de Repositorio Institucional (UNA: <http://repositorio.una.edu.ni/1320/>

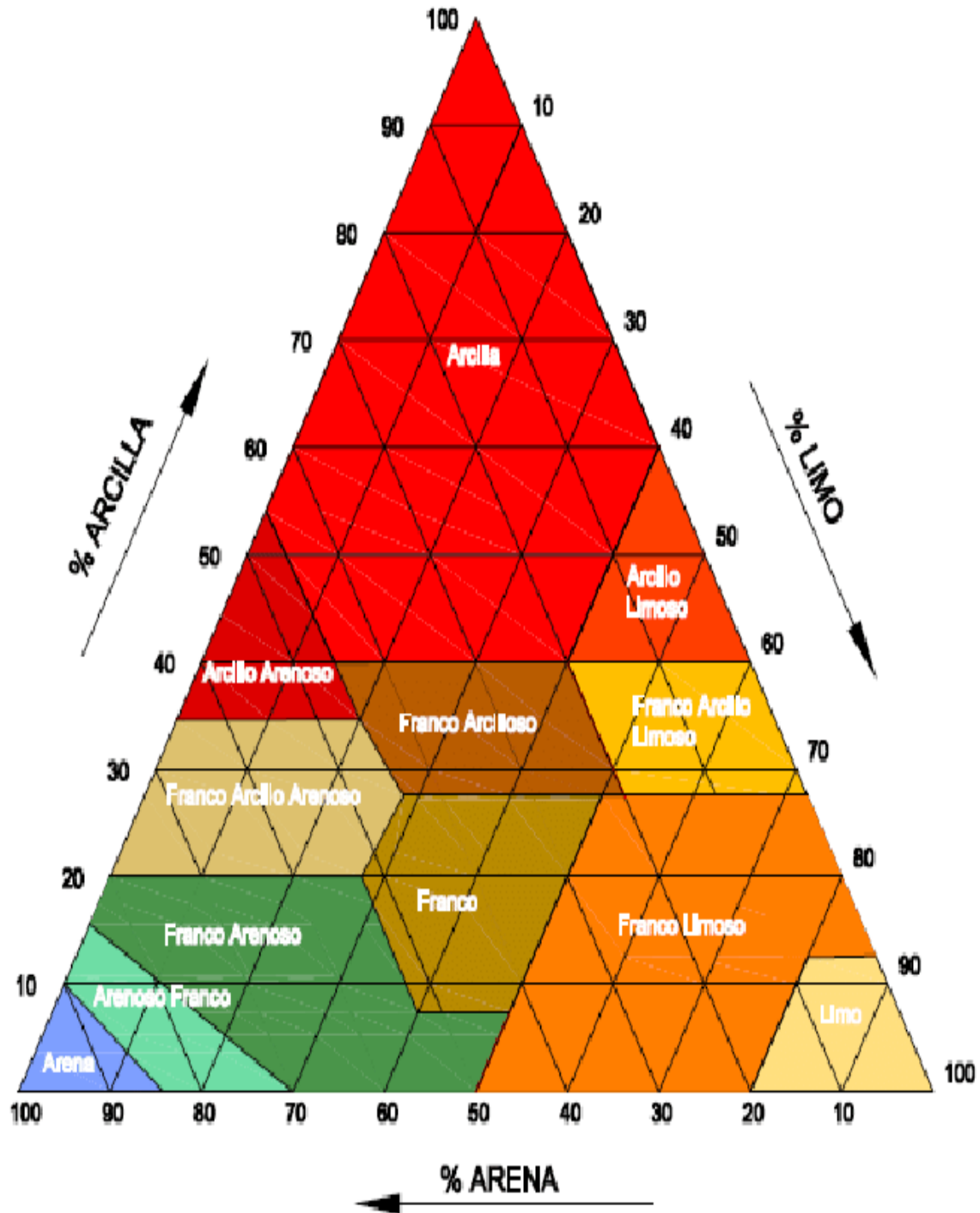
- Dorronsor, C. (5 de 11 de 2018). *edafologia.net*. Obtenido de [www.edafologia.net: http://www.edafologia.net/introeda/tema04/text.htm](http://www.edafologia.net/introeda/tema04/text.htm)
- EcuRed. (08 de 07 de 2015). *EcuRed*. Obtenido de EcuRed.: https://www.ecured.cu/Suelo_agr%C3%ADcola
- FAO. (2006). *Evapotranspiración del cultivo*. Roma.
- FAO. (2006). *Manual AcuaCorp*. E.E.U.U: FAO.
- FAO. (2013). *El manejo del suelo en la producción de hortalizas con buenas prácticas agrícolas*. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-i3361s.pdf>
- FAO. (2017). *AcuaCrop Manual*. E.E.U.U: Fao.
- Favian, A., & Byron, P. (2006). *Diseño y construcción de un cañon de riego por aspersión*. Quito, Ecuador: EPN. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/504>
- Fernández, R., Oyonarte, N., García, J., Yruela, M. d., Milla, M., Ávila, R., & Gavilán, P. (2010). *Manual de riego para agricultores: módulo 3. Riego por aspersión*. Sevilla, Andalucía, España: Consejería de Agricultura y Pesca, Servicio de Publicaciones y Divulgación.
- Garcia, I., & Briones, G. (1997). *Sistemas de Riego por aspersión y goteo. 2da Edición*. D.F.: Trillas. S. A de C. V.
- INETER. (2008). *Caracterización Climática del Departamento de Managua*. Managua.
- ing.agr.L.Ruck, ing.agr.F.Garcia, ing.agr.A.kaplan, Leon, i. d., & ing.agr.M.Hil. (2004). *bibliofagro.pbworks.com*. Obtenido de [bibliofagro.pbworks.com: http://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf](http://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf)
- JICA-INATEC. (20 de 5 de 2016). <https://www.jica.go.jp/spanish/index.html>. Obtenido de https://www.jica.go.jp/project/nicaragua/007/materials/ku57pq0000224spz-att/Manual_de_Pastos_y_Forraj.es.pdf
- Kerr, I., & Centeno, O. (2012). *Metodología de cálculo del diseño de un sistema de riego por aspersión aplicado al Cultivo del Maíz (Zea Mays L) en el CEA-UNI-FTC*. Managua, Nicaragua: UNI.

- La Prensa. (13 de 04 de 2012). *www.laprensa.com.ni*. Obtenido de <http://www.laprensa.com.ni/2012/04/13/opinion/97810-la-ganaderia-denicaragua>
- López, L., & Méndez, J. (2012). *Guía de Prácticas de Campo*. Managua: UNI:F.T.C. Departamento de Ingenieria Agrícola.
- López, M. (2012). *Guía de Practicas de Campo*. MANAGUA: UNI.F.T.C. DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AGRICOLA.
- López, T. (2015). *Acolita*. Obtenido de BLOG CURSO SIG, CERTIFICADO: <https://acolita.com/que-es-sistemas-de-informacion-geografica/>
- Mendez. (2012). *Guia de practicas de laboratorio*. Mangua: UNI-FTC-Ingenieria Agrícola.
- Mendez. (2018). *Guía de Practicas de eveluacion de sistema de Riego por Goteo*. Managua: UNI-FTC-DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AGRICOLA.
- Méndez, J., & López, L. (Noviembre. de 2011). *Guía de prácticas de campo y laboratorio de fundamentos del suelo*. Managua.: UNI-FTC-Ingeniería Agrícola-Laboratorio de Edafología.
- Montealegre, C. C. (2009). *Evaluacion del sistema de riego por cañones del ingenio monte rosa*.
- Mott, R. L. (2006). *Mecanica de Fluidos*.
- Murillo, J., Barros, J., Roncallo, B., & Arrieta, G. (2014). Requerimientos hídricos de cuatro gramíneas de corte para uso eficiente del agua en el Caribe seco colombiano. *Revista Corpoica - Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 1-7. Obtenido de <http://revista.corpoica.org.co/index.php/revista/article/view/399>
- Padilla, C., Valenciaga, N., Crespo, G., & González, D. (19 de 01 de 2018). Requerimientos agronómicos de Moringa oleifera (Lam.) en sistemas ganaderos. *Ganaderia. V Congreso Internacional de Producción Animal Tropical 2015*. Obtenido de Ganadería: <file:///C:/Users/usuario/Desktop/Requerimientos%20agronómicos%20de%20Moringa%20oleifera.html>

- Parra, A. (2012). *Evaluacion del potencial forrajero del pasto Maralfalfa Pennisetum violaceum con diferentes niveles de fertilización de nitrógeno y fósforo con una base estándar de potasio.*
- Pereira, L., Valero, J., Picornell, M. J., & Tarjuelo, J. M. (2010). Sistemas de Cañones Moviles. En *El Riego y sus Tecnologías* (págs. 194-204). Albacete: Editora Europa-America.
- Pinto, J., & Pinto, I. (6 de noviembre de 2009). *SlideShare*. Obtenido de Fundamentos del riego presurizado : <https://www.slideshare.net/xzibitwarcraft/r-i-e-g-o-p-o-r-g-o-t-e-o>
- Ruck, L., Garcia, F., Kaplan, A., Ponce de Leòn, J., & Hil, M. (2004). *bibliofagro.pbworks.com*. Obtenido de bibliofagro.pbworks.com: <http://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf>
- SCR-USDA. (2015). *Manual de Pastos y Forrajes* (Pascal Chaput ed.). Managua, Nicaragua. Obtenido de www.crs.org/nicaragua/
- Soubannier, J. S. (1985). *Riego y Drenaje*. Costa Rica: Editorial Univercidad Estatal a Distancia .
- Úbeda, J. (2018). *Catalogo de Analisis de suelo*. Obtenido de CRS: http://www.crservicios.es/LABORATORIO/DESCARGAS/CATALOGO_ANALISIS_SUELOS.pdf
- Universidad de Sevilla. (2017). *Open course ware Universidad de Sevilla*. Obtenido de <http://ocwus.us.es>: http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%209.%20Riego%20por%20asersion/page_01.htm/
- Velazquez, A. (2012). *Comparacion del cañon viajero contra el cañon estacionario en riego por aspersión*. Buena vista.
- Villalobos, C. (1998). *Diseño y evaluacion de sistema de riego de alta presion en el lote Nº 080 del ingenio Victoria de Julio*. Managua.

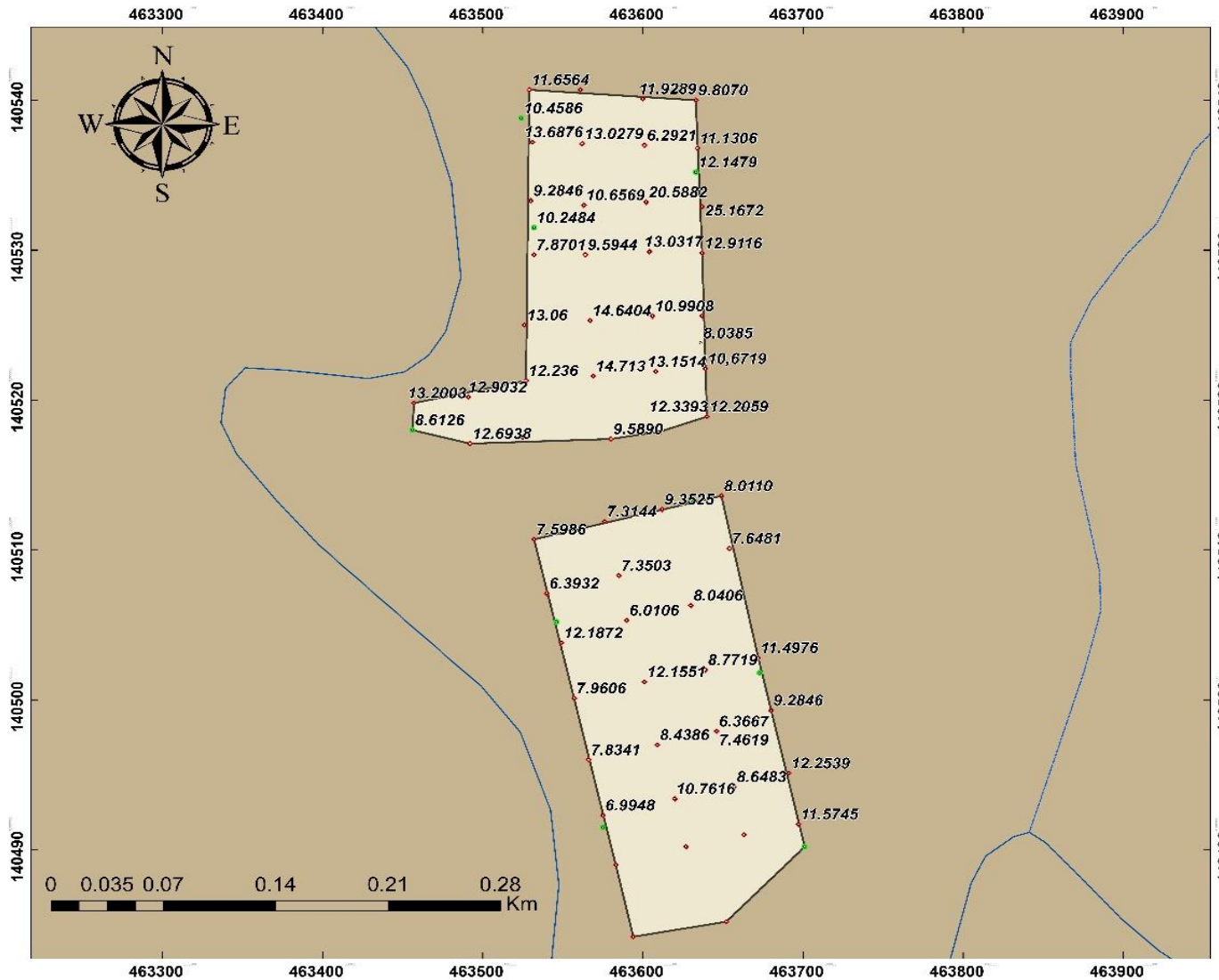
ANEXOS

Anexo 1. Triángulo Textural.



Fuente: (Dorronsoro, 2018)

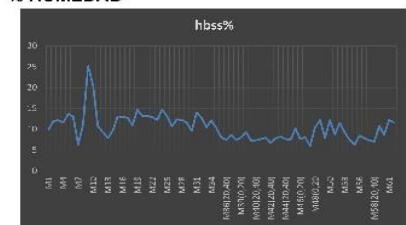
Anexo 2. MAPA DE % DE HUMEDAD.



Determinación de la lámina de riego óptima en el cultivo de Marango (Moringa Oleífera) en la finca "Entre Ríos", Municipio del Viejo, Departamento de Chinandega

Mapa de Humedad de Suelos

% HUMEDAD Leyenda



PUNTOS MUESTREADOS

- ♦ ALTERADAS
- INALTERADAS
- RÍO INTERMITENTE



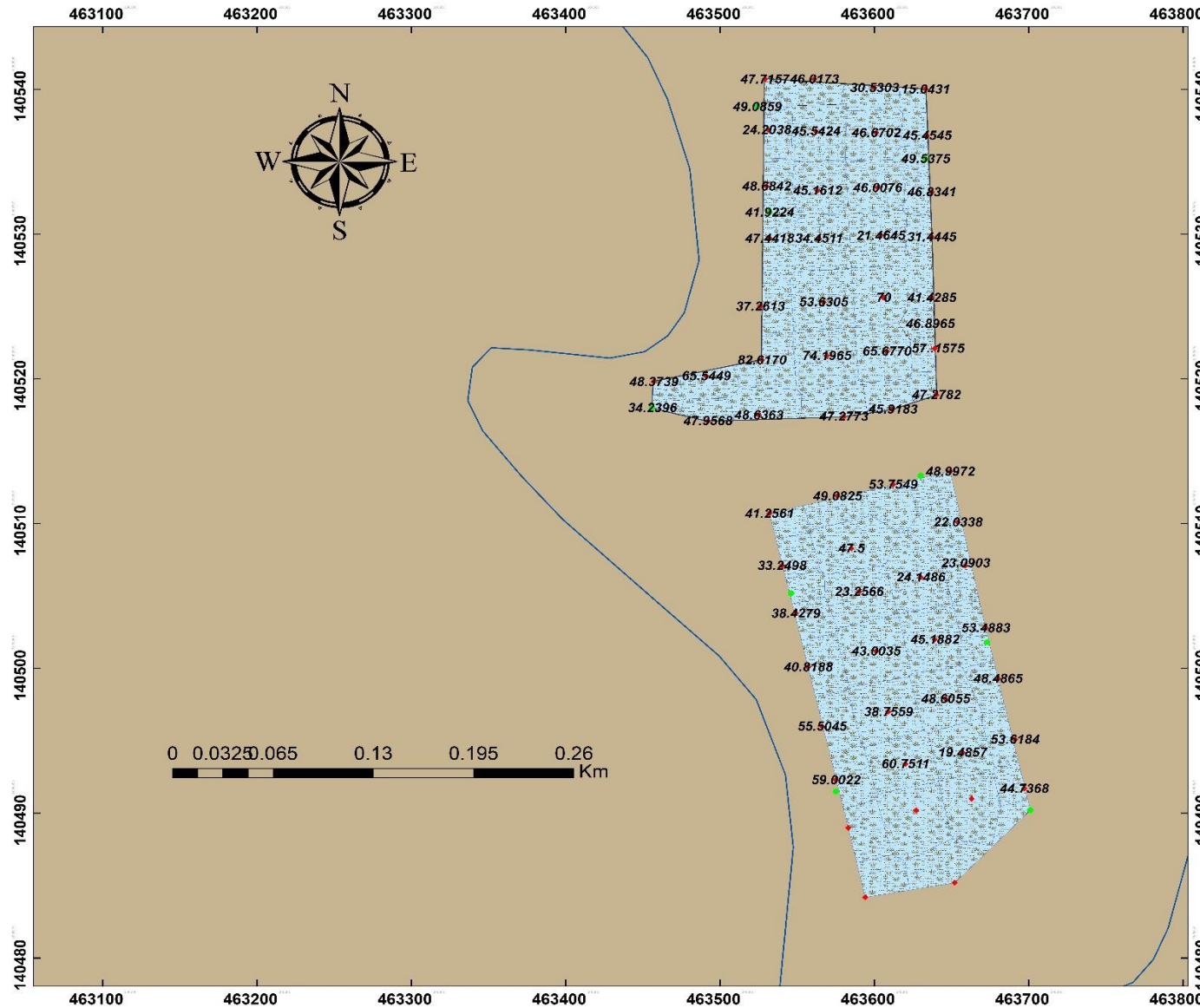
Fuente: Elaboración Propia, 2019

Proyección UTM
Datum Horizontal: WGS 84
Datum Vertical: Nivel Medio del Mar
Cuadrícula: 100 m-Zona 16 N

Julio 2019

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 3. MAPA DE CAPACIDAD DE CAMPO.

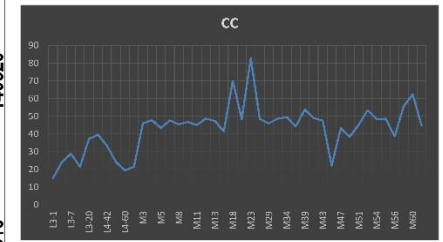


Determinación de la lámina de riego óptima en el cultivo de Marango (*Moringa Oleífera*) en la finca "Entre Ríos", Municipio del Viejo, Departamento de Chinandega

Mapa de Capacidad de Campo

Leyenda

CC



PUNTOS MUESTREADOS

- ALTERADAS
- INALTERADAS

RÍO INTERMITENTE

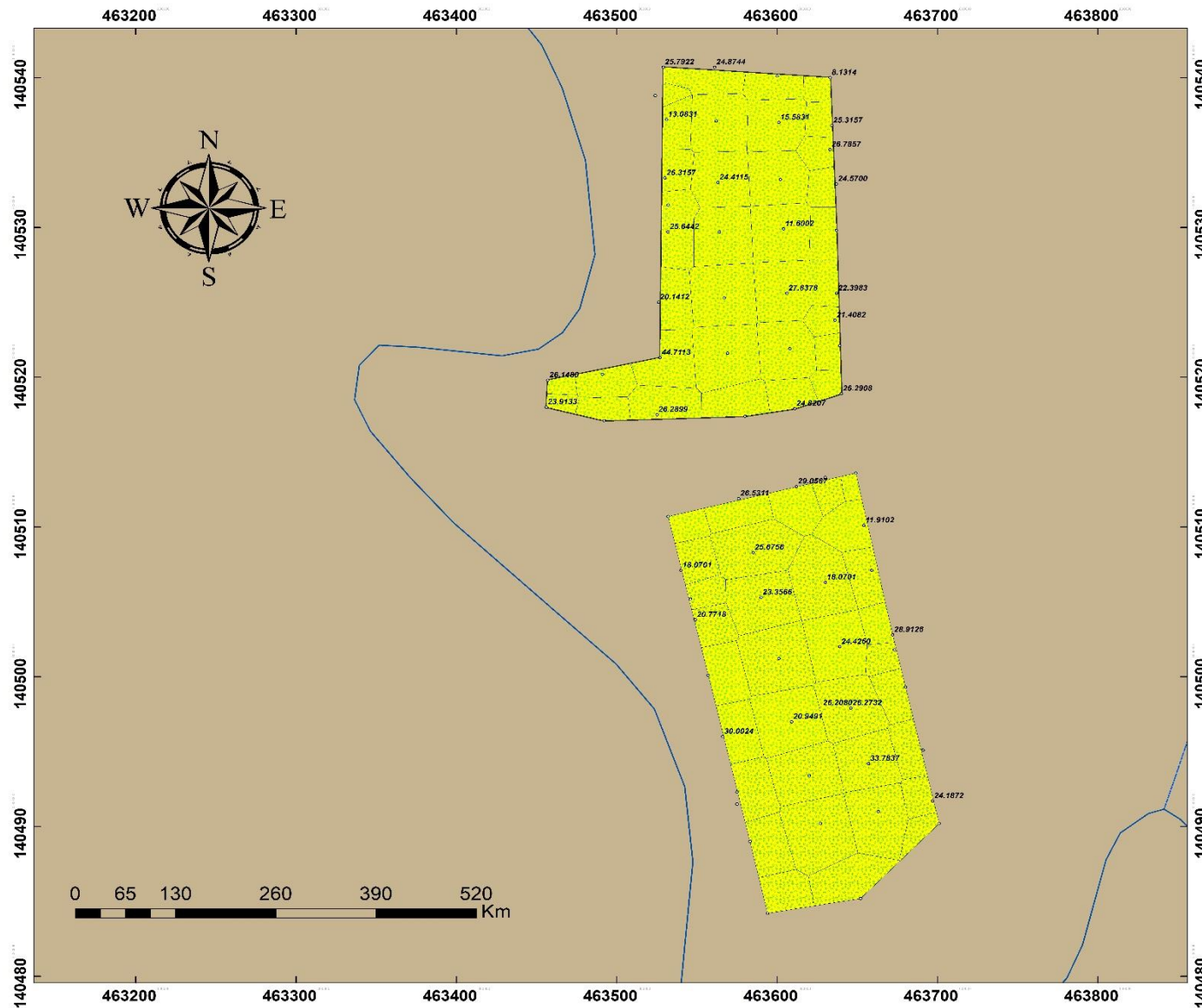


Fuente: Elaboración Propia, 2019

Proyección UTM
Datum Horizontal: WGS 84
Datum Vertical: Nivel Medio del Mar
Cuadrícula: 100 m-Zona 16 N
Julio 2019

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 4. MAPA DE PUNTO DE MARCHITES PERMANENTE.

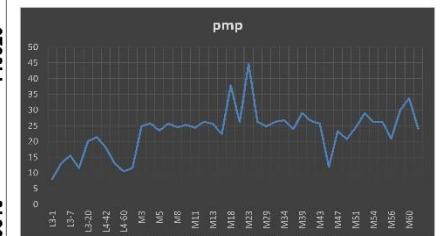


Determinación de la lámina de riego óptima en el cultivo de Marango (Moringa Oleífera) en la finca "Entre Ríos", Municipio del Viejo, Departamento de Chinandega

Mapa de PMP

Leyenda

PMP



- ♦ ALTERADAS
- ♦ INALTERADAS
- RÍO INTERMITENTE

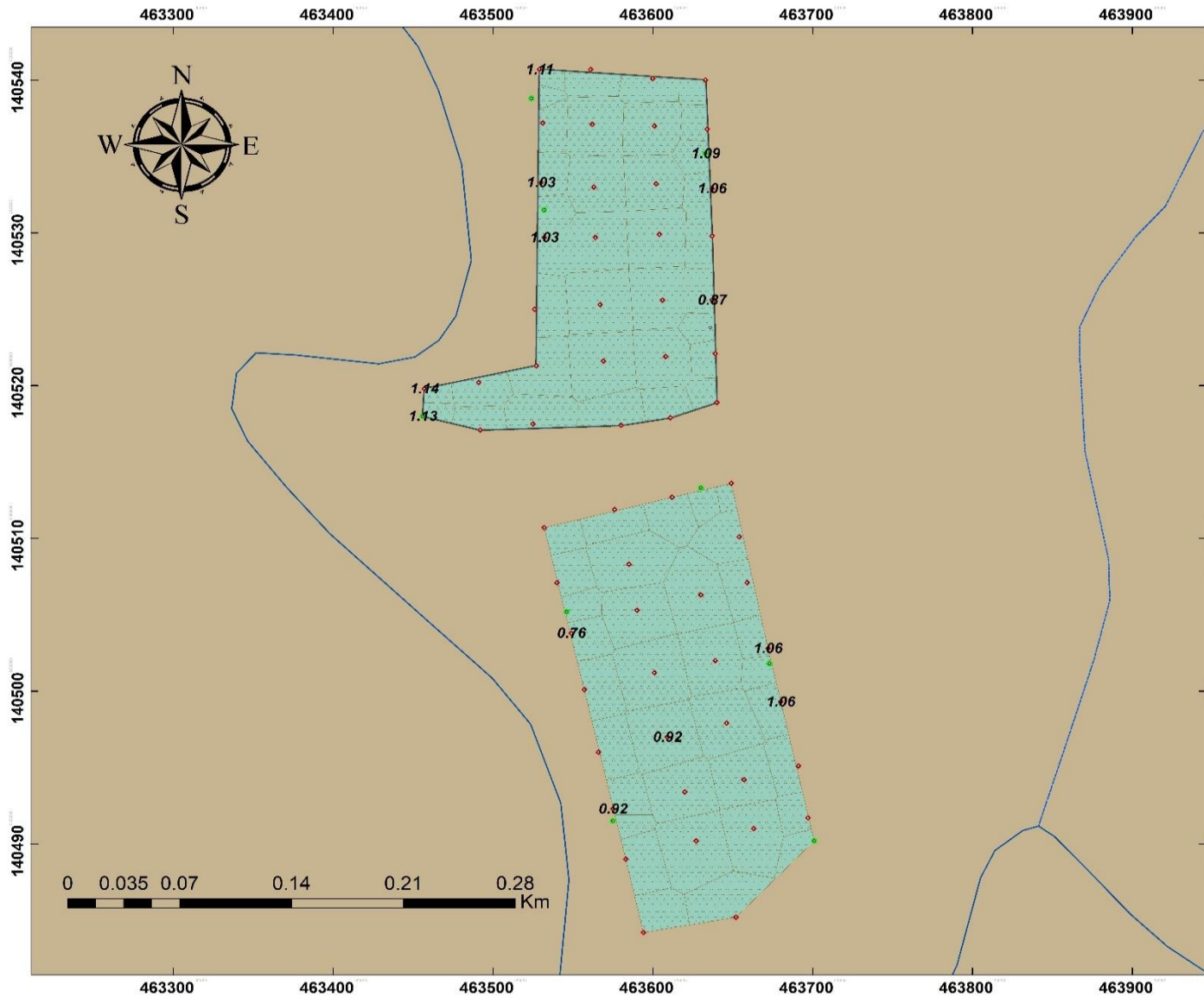


Fuente: Elaboración Propia, 2019

Proyección UTM
Datum Horizontal: WGS 84
Datum Vertical: Nivel Medio del Mar
Cuadrícula: 100 m-Zona 16 N
Julio 2019

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 5. MAPA DE DENSIDAD APARENTE

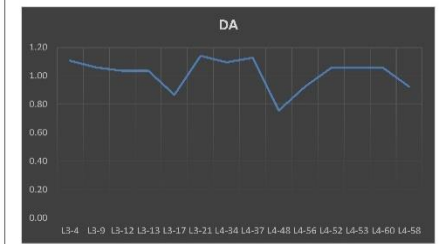


Determinación de la lámina de riego óptima en el cultivo de Marango (*Moringa Oleifera*) en la finca "Entre Ríos", Municipio del Viejo, Departamento de Chinandega

Mapa de DA

Leyenda

DA



PUNTOS MUESTREADOS

- ALTERADAS
- INALTERADAS
- RÍO INTERMITENTE

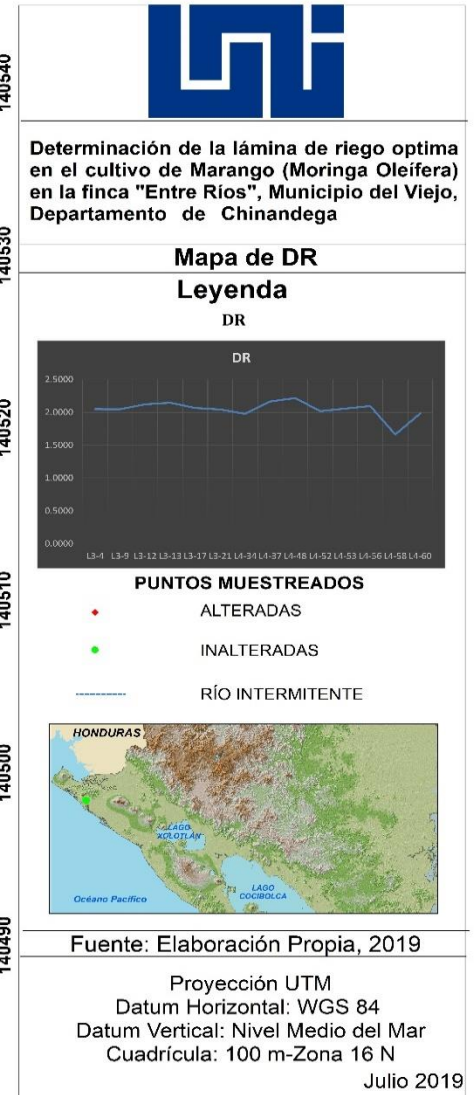
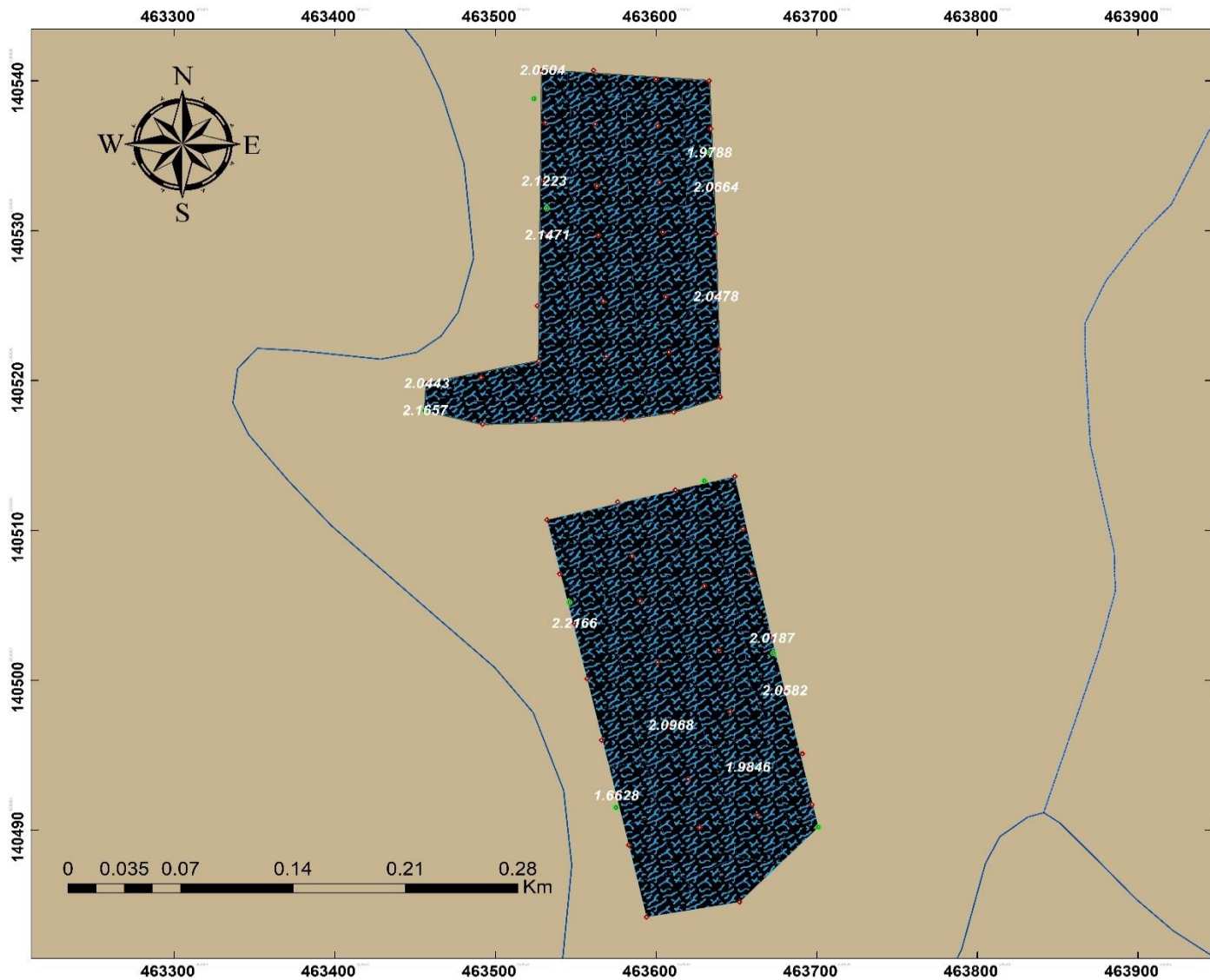


Fuente: Elaboración Propia, 2019

Proyección UTM
Datum Horizontal: WGS 84
Datum Vertical: Nivel Medio del Mar
Cuadrícula: 100 m-Zona 16 N
Julio 2019

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 6. MAPA DE DENSIDAD REAL.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 7. MAPA DE TEXTURA DEL SUELO.








Determinación de la lámina de riego óptima en el cultivo de Marango (*Moringa Oleifera*) en la finca "Entre Ríos", Municipio del Viejo, Departamento de Chinandega

Mapa de Textura de Suelos

Legenda

TEXTURA

-  ARCILLA
-  ARCILLO ARENOSO
-  ARCILLO LIMOSO
-  FRANCO ARCILLO LIMOSO
-  FRANCO ARCILLOSO

PUNTOS MUESTREADOS

-  ALTERADAS
-  INALTERADAS
-  RÍO INTERMITENTE

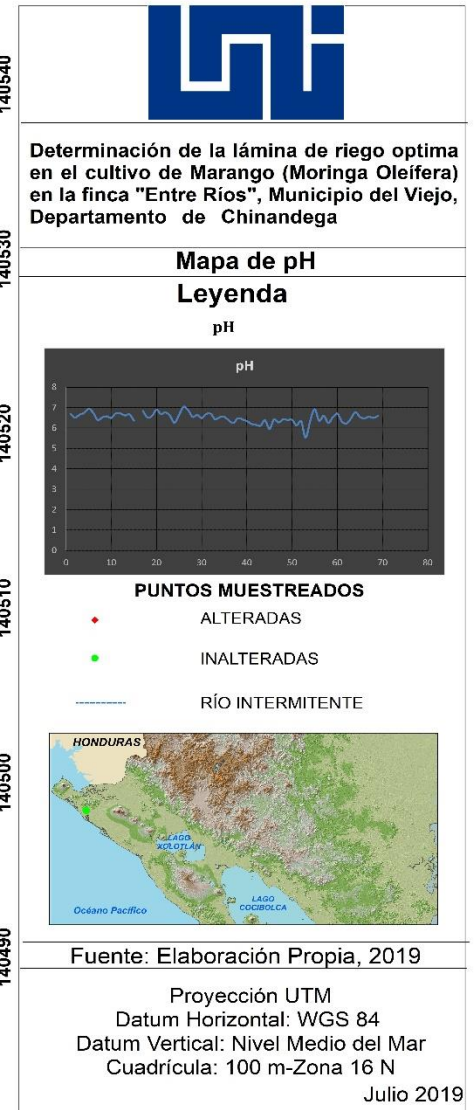
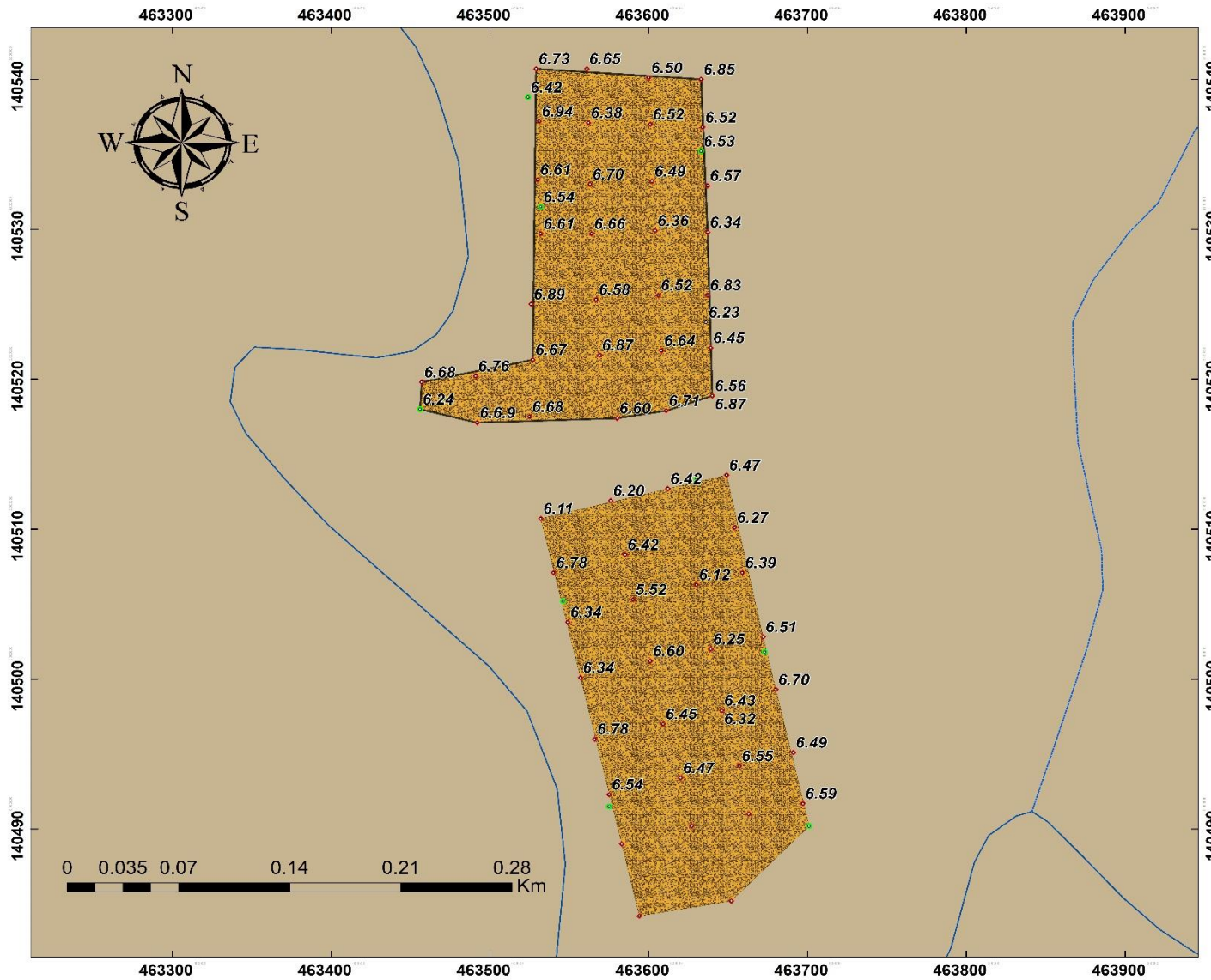


Fuente: Elaboración Propia, 2019

Proyección UTM
Datum Horizontal: WGS 84
Datum Vertical: Nivel Medio del Mar
Cuadrícula: 100 m-Zona 16 N
Julio 2019

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 8. MAPA DE pH.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 9. FOTO DE ANÁLISIS DE MUESTRAS DE SUELO EN LABORATORIO.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 10. FOTO DE ANÁLISIS DE MUESTRAS DE SUELO EN LABORATORIO.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 11. FOTO DE RECOLECCION DE MUESTRAS DE SUELO EN CAMPO FINCA “ENTRE RÍOS”.



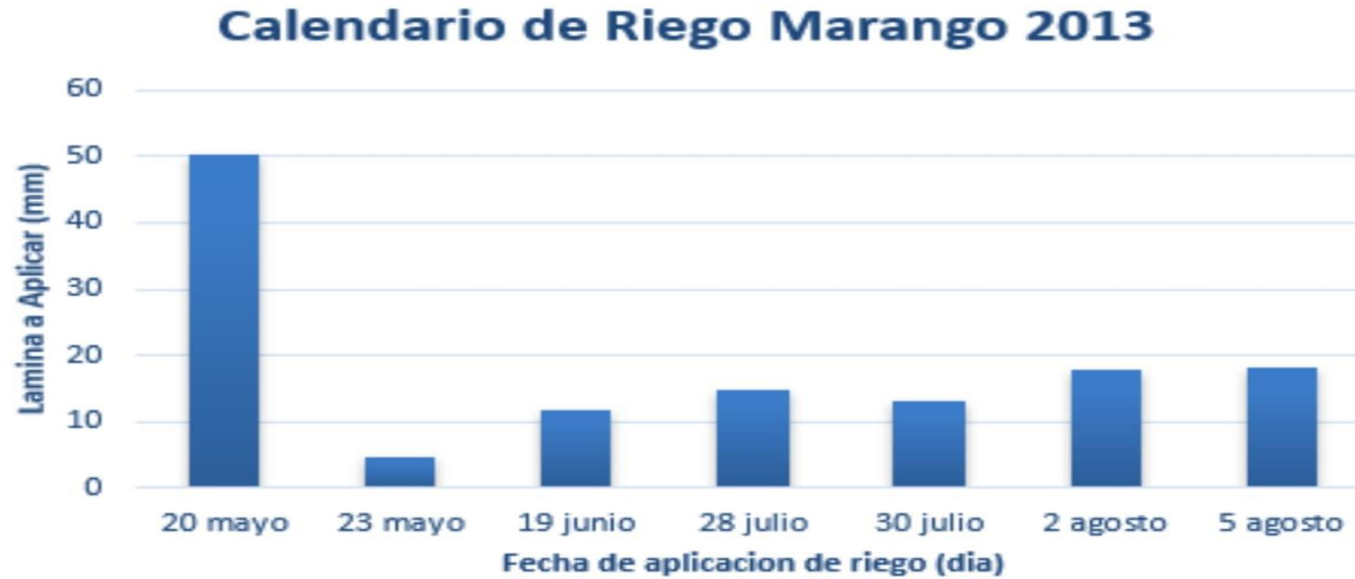
Fuente: Elaboración propia.

Anexo 12. CALENDARIO DE RIEGO (2010-2012).



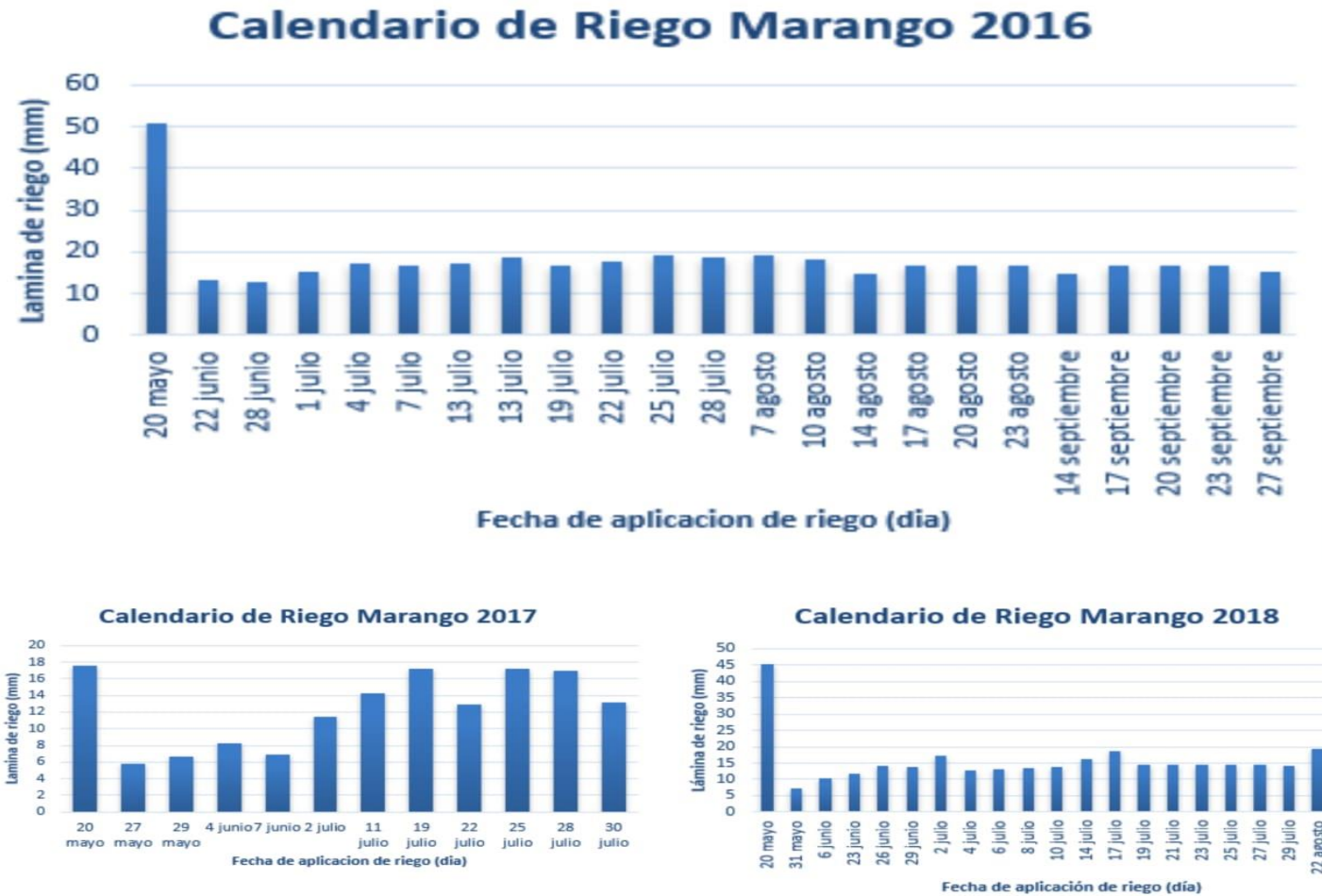
Fuente: Elaboración propia.

Anexo 13. CALENDARIO DE RIEGO (2013-2015).



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 14. CALENDARIO DE RIEGO (2016-2018).



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 15. PRUBA DE VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN.



Fuente: Elaboración propia.